



## Case02: BIM hos større ingeniørrådgiver

### Casebeskrivelse

Vestergaard, Flemming; Karlshøj, Jan; Hauch, Peter ; Lambrecht, Jan ; Mouritsen, Jan

*Publication date:*  
2012

*Document Version*  
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

*Citation (APA):*  
Vestergaard, F., Karlshøj, J., Hauch, P., Lambrecht, J., & Mouritsen, J. (2012). *Case02: BIM hos større ingeniørrådgiver: Casebeskrivelse*. Technical University of Denmark, Department of Civil Engineering. DTU Byg-Rapport No. SR 12-03

---

#### General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

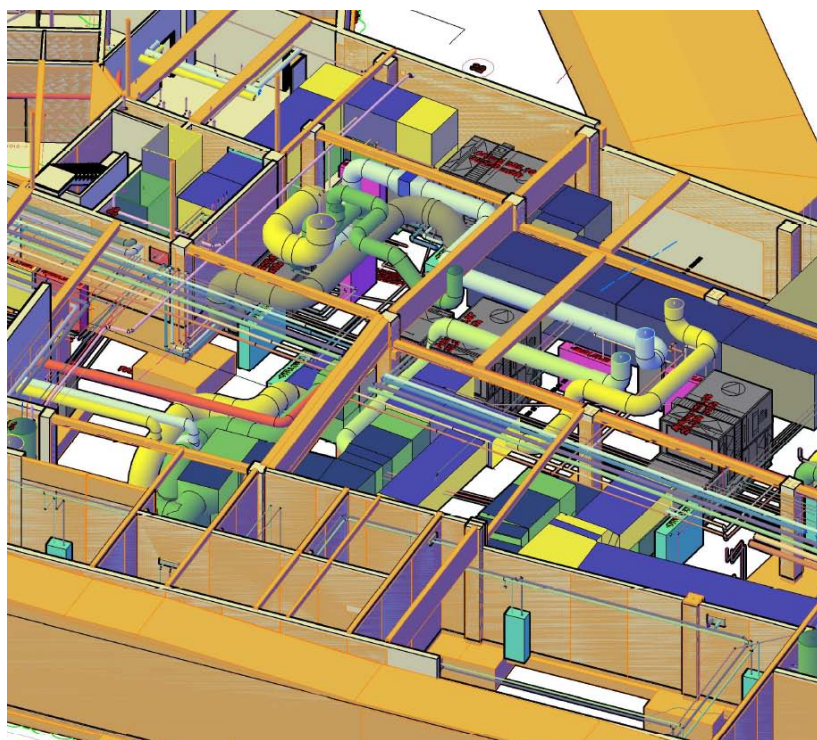
# Måling af økonomiske gevinster ved Det Digitale Byggeri

Et forskningsprojekt finansieret af Klima-, Energi-, og Bygningsministeriet

## Case02:

## BIM hos større ingeniørrådgiver

### Casebeskrivelse



#### DTU Byg Rapport SR 12-03

##### Forfattere:

ØG-DDB projektgruppen består af:

Flemming Vestergaard, DTU Byg

Jan Karlshøj, DTU Byg

Peter Hauch, Arkidata

Jan Lambrecht, TI og DS

Jan Mouritsen, CBS, Department of Operations Management

DTU Byg, Danmarks Tekniske Universitet

Bygningsstyrelsen



**DTU Byg**  
Institut for Byggeri og Anlæg



**BYGNINGSSTYRELSEN**  
Klima-, Energi- og Bygningsministeriet

## Indholdsfortegnelse:

Sammenfatning .....	3
Caseudvælgelsen og dataindsamling .....	5
Beskrivelse af byggeprojektet .....	6
IKT-koncept beskrivelse .....	8
IKT-konceptets potentialer.....	10
Initiativet til IKT-konceptet .....	11
Casestudiets parter.....	12
BIM karakteristika for casen.....	13
Omkostninger.....	15
Hovedproces 1: Projekteringsledelse og projektering med brug af fag- og fællesmodeller .....	17
Hovedproces 2: Udbud/tilbud og produktionsforberedelse.....	24
Proces 3: Udførelse på byggeplads .....	27
Hovedproces 4: Drift af bygningen .....	31
Opsummeringen af effektmålingen .....	34
Barrierer og forudsætninger for implementering .....	40
Konklusion .....	42

## Tilgængeligt materiale:

### 4 casebeskrivelser:

Case01 BIM hos mindre arkitekturrådgiver

Case02 BIM hos større ingeniørrådgiver

Case03 BIM hos driftsherre og byg- og driftsherrerådgiver

Case04 BIM hos større entreprenør

### Metodemanualen ØG-MM

Dette er metodegrundlaget. Det består af en **Casestudiedrejebog**, der beskriver processen samt værktøjerne, **Effektvurderingsskema**, i form af et regneark med tematiske faneblade.

### ØG-DDB Projektrapport

Her kan man læse om baggrunden for casestudierne, de væsentlige indikatorer og en generel opsamling af resultaterne fra casestudierne.

## Casebeskrivelse af case 02

# BIM hos større ingeniørrådgiver

---



*Fig1: Illustrationen viser Rambøll Head Office i en tidlig fase af projekteringen, hvor arkitekten har anvendt arkitektfagmodellen til visualisering.*

## Sammenfatning

### IKT-konceptet

Casen repræsenterer et fuldt faseforløb for et byggeprojekt fra programmeringsfasen over projektering og udførelse til start af driften. Der er eksempler på anvendelse af modelbaserede metoder og værktøjer fra projekteringsfasens start til drift og ombygning. IKT-konceptet repræsenterer et integreret projektsamarbejde mellem byggeriets parter, efter retningslinjer beskrevet i Det Digitale Byggeris '3D arbejdsmetode'. Rådgivergruppen har været de styrende i det modelbaserede samarbejde, men der er også eksempler på fagentreprenører, der har arbejdet modelbaseret. Ingeniørrådgiveren Rambøll er udpeget som hovedaktør i denne casebeskrivelse.

Der er gennem et casestudie identificeret nogle aktiviteter i processerne, hvor rationaliseringsgevinster og kvalitative gevinster er målt finansielt og/eller ved en skaleret værdisætning. Tilsvarende er de omkostninger, som er forudsætninger for IKT-konceptet, opgjort finansielt. Det gælder både de initiale engangsinvesteringer og de omkostninger, der er forbundet med driften af IKT-konceptet, licenser, opgraderinger, kompetenceløft m.m.

### **Gevinstområder**

Hovedresultaterne fra casestudiets målinger er, at projektering med anvendelse af en 3D arbejdsmetode, der benytter digitale bygningsmodeller som omdrejningspunkt for projekteringen, kan foregå indenfor de samme økonomiske rammer, som ved traditionelle, dokumentbaserede arbejdsmetode. Dette gælder også når man alene ser på de traditionelle dokumentbaserede leverancer mellem projektets aktører. Når digitale bygningsmodeller først er etableret ligger der store gevinster i at genbruge modeldata til en række udvidede aktiviteter: projektkoordinering, simuleringsopgaver, styklistegenerering til tilbudslistes og indkøb osv. Det betyder, at hvis kravene til projektet er store indenfor disse områder, som det er tilfældet med RHO, så er der gevinster at høste. Man opnår udover en mere rationel projekterings- og produktionsplanlægningsproces et kvalitativt bedre byggeri med mindre energiforbrug, bedre indeklima, bedre brugertilfredshed m.v.

### **Gode erfaringer**

En markant udtalelse er registreret fra projektlederen. Han havde ikke før gennemført et projekt indenfor rammerne af en 3D arbejdsmetode, men udtalte efter gennemførelsen af projektet, at han dårligt kan forestille sig at deltage i et projekt uden en modelbaseret arbejdsmetode.

### **Direkte gevinst for hovedrådgiveren (virksomhedsniveau)**

Rambøll Danmark A/S havde flere roller i projektet og derfor også mulighed for at høste gevinster på flere felter. Rambøll er den kommende lejer og driftsherre og var samtidig under byggeprocessen hovedrådgiver for projektet med et honorar på omtrentlig 10 % af den samlede anlægssum på ca. 1 mia. kr. Den største gevinst for hovedrådgiveren, der blev målt i casestudiet, ligger i perioden efter projekteringen, under udførelsen på byggepladsen. Der er registreret en direkte gevinst på ca. 3,8 mio. kr. Gevinsten skyldes en meget hurtigere afvikling af rådgiverteamet i forhold til tilsvarende byggesager. Forklaringen på gevinsten skyldes ifølge projektmedarbejdere, at IKT-konceptets anvendelse af fagmodeller og fællesmodeller har betydet, at hovedprojekt materialet er velkoordineret mellem fagene og at det indeholder færre projektfejl end normalt. Dette har den positive effekt, at der i starten og under opførelsen er forekommet langt færre tvivlsspørgsmål og uklarheder på byggepladsen end normalt, forhold der tager tid og ressourcer at udrede mellem rådgiverne og fagentreprenørerne.

### **Gevinst ved simulering (virksomhedsniveau)**

En stor indirekte gevinst er de detaljerede bygningsfysiske simuleringer indenfor specielt indeklima, som blev gennemført i projektet. Grunden til valget af 3D arbejdsmetode var gode erfaringer i rådgivergruppen fra tidligere projekter. For Rambølls vedkommende gjaldt det specielt erfaringerne fra Reykjavik Kongres- og Conferencecenter. Erfaringerne herfra havde vist konceptets muligheder for øget koordinering mellem projektets parter og mulighederne for at skabe en bedre kvalitet både med hensyn til projekt materialet og selve byggeriet.

De gennemførte simuleringer sikrede reducerede driftsomkostninger senere og var muliggjort ved genbrug af modeldata fra bygningsmodel til analyseværktøjerne indenfor projektets økonomi. De afledte effekter: mindre energiforbrug og bedre indeklima vil blive høstet af Rambøll som driftsherre/lejer og indirekte kapitaliseret af bygherren. Disse gevinster er dog ikke endnu dokumenteret.

### **Gevinst for entreprenører der investerer (projektniveau)**

For entreprenørerne viser casen, at hvis den enkelte fagentreprenør indgår aktivt i en detaljeret projektering og produktionsforberedelse, er der gevinster at hente. Ventilationsentreprenøren investerede et beskedent beløb i nyt software samt efteruddannelse (ca. 400.000 kr.), som gjorde dem i stand til at samprojektere og trække på de data, rådgiver havde udviklet. Dette forhold, sammen med det generelle høje niveau for koordinering, gav entreprenøren adgang til en lang række gevinstområder: sparet tid

ved koordinering med andre fag blev vurderet til en besparelse på 3,5 mio. kr., en hurtigere gennemførelse af entreprisen på 15-20 % samt sparet tid og færre montagestop på byggepladsen blev vurderet til en reduktion af fejl på 85-90 % i forhold til tidligere projekter. Til det sidste høje tal skal bemærkes, at ventilationsentreprenøren trådte tidligere ind i montageprocessen end traditionelt, hvilket i sig selv vil give færre montagestop og hurtigere montage, men at han vurderer, at muligheden for disse procesændringer også kan tilbageføres til IKT-konceptets modelkoordinering.

#### **Afledte gevinst for alle parter (projektniveau)**

For de andre fagentreprenører, som ikke indgik aktivt i modelarbejdet, var der også gevinster at hente. De målbare gevinster skyldes primært det velkoordinerede og fejlrettede projektmateriale, som betød færre processtop under udførelsen. De fagentreprenører, der er undersøgt i casen, havde alle registreret gevinster indenfor dette område. Således registrerede vvs-entreprenøren en besparelse på 540.000 kr. (reduktion i RFI med ca. 90 %) og el-entreprenøren en besparelse på 127.000 kr. Af andre gevinster for gruppen af entreprenører var adgangen til modellen via en viewer, som gjorde dem i stand til hurtigt og effektivt at få overblik over projektet og få afklaret tvivlsspørgsmål på stedet.

#### **Et højt kompetenceniveau en forudsætning**

Forudsætningen for, at der kunne høstes gevinster i planlægningsfasen og i udførelsesfasen var, at alle hovedaktører i rådgivergruppen havde kompetencer indenfor 3D arbejdsmetode og arbejdet med digitale bygningsmodeller som grundlag for planlægning. Her var arkitekt-rådgiveren på højde med ingeniør-rådgiveren. Dette muliggjorde den modelbaserede koordineringsprocedure, der blev anvendt gennem hele projekteringen og som resulterede i et projektmateriale (tegninger og modeller) med få fejl og dermed spare tid på byggepladsen.

Begge rådgivere har kompetencer indenfor 3D arbejdsmetode. De har udviklet en virksomhedsstrategi med hensyn til implementering af IKT/BIM og de har erfaring med flere gennemførte projekter med anvendelse af 3D arbejdsmetode og digitale bygningsmodeller. De har begge kompetencer til at opfylde Det Digitale Byggeri's Bygherrekrav.

Ventilationsentreprenøren har ligeledes lagt en IKT/BIM strategi og gennemførte sin entreprise med udgangspunkt i en 3D arbejdsmetode. Det var i denne virksomheds processer de største gevinster blev målt i produktionsforberedelses- og udførelsesfasen.

### **Caseudvælgelsen og dataindsamling**

ØG-DDB projektgruppen har foretaget en værdianalyse af hvilke IKT-koncepter (processer, aktører og metoder) der har den største nytteværdi for byggesektoren. Dette er dokumenteret i 'ØG-MM, Værdianalyse'. Der lægges vægt på faser, der er involveret, BIM hovedaktiviteter, virksomhedstype, virksomhedsstørrelse, projekttype, samarbejdsrelationer, integrationsniveau, modelrepræsentation, målgruppeniveau, opfyldelse af bygherrekravene og en samlet vurdering af nytteværdien, vægtet i forhold til målsætningen for casestudierne.

#### **Værdianalyse**

Analysen tager udgangspunkt i hele byggeriets værdikæde, og der udpeges processer, hvor på den ene side digitaliseringen af processer vurderes at give store effekter, og hvor på den anden side nytteværdien er størst for målgruppen. Input til analysen er projektgruppens teoretiske og praktiske viden om digitaliseringens påvirkning af byggeprocesserne suppleret med dansk og international litteratur om



emnet samt kendskab til aktuelle projekter og danske virksomheder, der ligger i front inden for digitaliseringen af deres processer.

De større ingeniørrådgivere er interessante, da de har været ledende i implementeringen af CAD og senere 3D arbejdsmetoder og nu i overgangen til BIM i den danske byggesektor. De større rådgivende ingeniørvirksomheder har således leveret ressourcer til udviklingsprojekterne i forbindelse med Det Digitale Byggeri, DDB, fra 2003 til 2007. Repræsentanter for virksomhederne, herunder Rambøll, har deltaget i udviklingen af DDB's Bygherrekrav for statslige bygherrer, i Fundamentsprojekterne bl.a. '3D arbejdsmetode' og 'Dansk Byggeklassifikation' og i 'best practise' projekterne under 'Bedst i Byggeriet' i samarbejde med DIKON. De har ligeledes været aktive i forbindelse med det efterfølgende Implementeringsnetværk, hvis formål var at implementere DDB's resultater i sektoren. På virksomhedsniveau har de sideløbende, i større eller mindre omfang, implementeret DDB's resultater i BIM orienterede arbejdsmetoder og procedurer i egne virksomheder, og har bl.a. gennem statslige byggeopgaver fulgt bygherrekravene til digitalisering fået afprøvet modelbaserede teknologier og arbejdsmetoder i deres faglige praksis. Denne praksis er foregået fra Bygherrekravenes ikrafttræden pr. 1. januar 2007, hvorfor flere af de rådgivende virksomheder må vurderes at have indarbejdede rutiner indenfor området.

Rambøll er en af de ingeniørrådgivere, som har været længst fremme i denne udvikling. De deltog aktivt i udviklingen af bygherrekravene vedrørende 3D modeller og simulering, de var med i udviklingen af 'Dansk ByggeKlassifikation' og '3D Arbejdsmetode' og de har i hele perioden været bindeleddet til de vigtige internationale udviklinger indenfor standardiseringer på BIM- og udvekslingsområdet gennem medlemskab af og aktiv deltagelse i International Alliance for Interoperability (IAI) og senere Building-Smart, hvor udviklingen af det neutrale udvekslingsformat 'Industry Foundation Classes' (IFC) foregik. Rambøll har siden 2007 gennemført en lang række projekter, hvor BIM orienterede teknologier og metoder har været anvendt, eksempelvis 'Kongres- og Conferencecentret i Reykjavik', Island.

Bidrag til standardiseringsudviklingen indenfor IKT i Danmark og dermed bidrag til at løfte det fælles vidensniveau har været formaliseret i sammenslutningen Digital Konvergens (DIKON), som er et samarbejde mellem 6 af de største ingeniørrådgivere og entreprenørvirksomheder. Formålet med sammenslutningen er, at finde værdi i anvendelsen af IKT i byggeprocesserne og i fællesskab at indføre og udbrede fælles IKT-standarder for hele byggebranchen og dermed løfte digitaliseringsniveauet i den danske byggesektor generelt. Rambøll har været en aktiv part i dette samarbejde.

I denne case's værdianalyse er det bl.a. muligheden for videnovertførsel til mellemstore og små rådgivende virksomheder, der er vurderet som nyttig. De data, der er indsamlet til case01, er samlet i metodeværktøjet ØG-MM's 'Effektvurdering' for case 02 samt i mødereferater, som er placeret på projektets projektweb.

## Beskrivelse af byggeprojektet

Casestudiet formål er at måle og beskrive en større ingeniørrådgivers gevinster ved at anvende metoder og værktøjer, der er BIM orienterede. Der tages udgangspunkt i et konkret byggeprojekt, hvor BIM teknologien er anvendt i et for den danske byggesektor højt niveau. Hvor BIM gevinstpotentialer ikke er udnyttet kan der blive refereret til andre byggeprojekter, der repræsenterer disse gevinstpotentialer. Se endvidere afsnittene 'Potentielle effekter' under hovedprocesserne.



Fig.2: Illustrationen viser Rambøll Head Office sat i den landskabelige kontekst og beskriver arkitektens konceptuelle tilgang til byggeprojektet. Kilde: Dissing+Weitling.

Det konkrete byggeprojekt er Rambølls Head Office, RHO, som har følgende data:

**Formål og program for projektet:** Byggeprojektet er et resultat af ønsket om at samle de danske Rambøll-selskaber under ét tag. Der var endvidere et ønske om skabe et arkitektonisk ekspressivt domicil, der understøtter virksomhedens visioner om udvikling, samarbejde og videndeling.

Der har i arbejdet med domicilet været stor fokus på energiforbrug og indeklima, men flere spændende tiltag er i spil som bæredygtighed, brugerinddragelse m.v. I arbejde med at integrere bæredygtighed i domicilet har man på baggrund af 93 konkrete bæredygtighedstiltag udvalgt de mest optimale ud fra en helhedsbetragtning. En øget bevidsthed om energiforbruget vil udover besparelser på elforbruget også føre til et bedre indeklima og et reduceret kølebehov. Målsætning er ti procent under den lovpligtige energiramme for bygningen.

Rambøll er hovedrådgiver på projektet og samtidig den kommende lejer/leaser fra 10 til 15 år. Rambøll har således haft forskellige roller i projektet, som rådgiver og som kommende lejer/driftsherre.

**Projektperiode:** Planlægning: 2006-2008. Udførelse: 2008-2010, I drift: 09.09.2010

**Lokalisering:** Danmark, København S, Ørestaden, Hannemans Allé 53.

**Bygningstype:** Domicil for større ingeniørrådgiver, Rambøll.

**Bygningsstørrelse:** 40.000 m<sup>2</sup>. samt 6.000 m<sup>2</sup> kælder, 7 etager, antal arbejdspladser: 1600/1800.

**Hovedrådgiver:** Rambøll Danmark A/S.

**Arkitekt:** Dissing+Weitling architecture.

**Indretningsarkitekt:** M3 Indretningsarkitekt.

**Landskabsarkitekt:** Schønherr Landskabsarkitekter.

**Ingeniører og entreprenører:** Stålkonstruktioner: Rambøll og Holbæk Ny Maskinværksted, Råhus: Rambøll og E. Pihl & Søn A/S, Ventilation: Rambøll og Airteam, VVS: Rambøll og Brøndum A/S, El: Rambøll og Pihl&Søn.

**Bygherre:** SEP Pension, med en 'finansiell leasing' model.

**Driftsherre, lejer - leasing:** Rambøll indgår som lejer i den finansielle leasing.

**Samarbejdsform:** Totalentreprise. Partnering mellem Rambøll, Pihl&Søn og Dissing+Weitling med SEB som bygherre. Dette har givet mulighed for et tæt og åbent samarbejde med et lavt konfliktniveau og inddragelse af synspunkter fra entreprenør, lejer og ejer tidligt i forløbet.

**Anlægsomkostning:** Samlet for projektering og udførelse med byggelånsrenter: ca. 1 mia. kr.

**Gennemsnitlig kvm. pris:** For effektivt brugsareal: ca. 25.000 kr.

**Hovedrådgiverhonorar:** ca. 10 % af anlægssummen (ca. 100 mio. kr.).



**ØG-DDB interne informationer:** Kontaktpersoner i involverede virksomheder: Bent Steen Andresen, Rambøll (projektleder på RHO Rambøll), Niels Tredal, Rambøll (fagleder for 3D design vvs), Morten Alsdorf, Rambøll (CAD koordinator), Troels Hoff, Rambøll (ansvarlig for stålkonstruktioner RHO), Jens Juul, Airteam (ansvarlig for ventilationsentreprisen), Asger Lyngklip Jensen, Rambøll, ansvarlig for rengøringsudbuddet.

På ØG-DDB projektwebben ligger der referater fra møderne med ovenstående ressourcepersoner.

## IKT-koncept beskrivelse

Casen repræsenterer et fuldt faseforløb for et byggeprojekt fra programmeringsfasen over projektering og udførelse til start af drift og ombygning (der blev allerede mod slutningen af udførelsen foretaget en mindre ombygning). Der er eksempler på anvendelse af BIM orienterede metoder og værktøjer fra projekteringsfasen til drift og ombygning. Rambøll besluttede, at gennemføre projektet efter en 3D arbejds metode, hvor så mange informationer som muligt var forankret i, koordineret gennem og udvekslet via digitale bygningsmodeller. Dette gjaldt for de væsentlige faglige ansvarsområder: arkitektur, konstruktioner (stål og beton) og installationer (vvs, ventilation og el).

Sammenfattende er følgende faser/hovedprocesser involveret i IKT-konceptet:

- A. Design
- B. Projektering
- C. Udbud/tilbud
- D. Produktionsforberedelse
- E. Udførelse
- F. Aflevering
- G. Drift

IKT-konceptet er ikke direkte underlagt Det Digitale Byggeri's bygherrekrav, der pr. 01.03.2011 er erstattet af 'Bekendtgørelse om krav til anvendelse af Informations- og Kommunikationsteknologi i byggeri' (bekendtgørelse 1381), da projektet har en privat bygherre. Imidlertid har hovedrådgiveren allerede indarbejdet opfyldelsen af bygherrekravene i sine arbejdsrutiner, hvorfor det blev besluttet at anvende denne 3D arbejds metode i gennemførelsen af byggeprojektet. Der henvises til senere afsnit vedr. Initiativet til IKT-konceptet. ØG-DDB projektgruppen vurderer således, at projektet ville kunne opfylde samtlige DDB bygherrekrav (krav gældende fra 1. marts 2011) Det vurderes at IKT-konceptet kan opfylde bygherrekravene vedr. projektweb: Krav nr. 2, samtlige bygherrekrav vedr. brug af digitale bygningsmodeller i 3D: Krav nr. 3, krav til digitalt udbud, krav nr. 4, og kravene vedr. digital aflevering, krav nr. 5. Afleveringsmetode I, II og III. Kravene vedr. DBK (krav nr. 1) er ikke gennemført, da det ikke er ønsket af bygherren, men vil kunne opfyldes i det øjeblik DBK er færdigudviklet og implementeret i software.

IKT-konceptet går ud på at erstatte anvendelsen af 2D tegninger i projekteringsfasen med en digital 3D bygningsmodel, som så er omdrejningspunktet for de hovedaktiviteter, der foregår i design- og projekteringsfasen samt de efterfølgende faser, herunder anvendelse af bygningsmodellen til en række kendte samt nye aktiviteter i projekteringsfasen, i udførelsesfasen og i driftsfasen.

1. Oprettelse af byggesag på projektweb og administrere projektweb i hele projekteringsforløbet.
2. Projektledelse og koordinering af projektbeslutninger strukturelt og byggeteknisk med arkitekt-rådgiver på infoniveau 3 og 4. Udarbejdelse af fagmodeller og fællesmodeller.
3. Modelkoordinering med andre parter i projektet og konsistenskontrol (udveksling proprietært med anden part og via IFC formatet). Af andre parter var arkitekt, indretningsarkitekt, landskabsarkitekt samt fagentreprenører, der indgik i projekteringen på informationsniveauer fra 0 til 4.
4. Projektering af stålkonstruktionen, informationsniveau 3 og 4.

5. Projektering af betonkonstruktionen og fundering, informationsniveau 3 og 4.
6. Projektering af installationer, vand, varme, ventilation, sanitet og el, informationsniveau 3 og 4 (dog for ventilationsprojekteringen informationsniveau 5).
7. Simulering af energiforbrug, informationsniveau 3 og 4, opvarmning, elforbrug.
8. Simulering af indeklimate, CFD, lysforhold, informationsniveau 2 og 3.
9. Simulering af akustik, informationsniveau 3.
10. Simulering af brand og evakuering (brand blev ikke simuleret modelbaseret men udført i tæt dialog med brandmyndighederne med bygningsmodellen som dialogværktøj afsluttende med brandtest i bevægelsesrummet).
11. Simulering af kontorindretning ved medarbejderinddragelse og i samarbejde med indretningsarkitekt.
12. Løbende Kommunikation med bygherren gennem visualiseringer af modellen.
13. Generering af traditionelt tegningsmateriale direkte fra bygningsmodellen med en mindre omfattende efterbehandling.
14. Kontrol og kommunikation af løsninger under udførelsen ved hjælp af bygningsmodellen.
15. Opdatere bygningsmodellen 'as built' på informationsniveau 4 niveau.
16. Aflevering af 'as built' dokumentation i form af tegninger (planer, snit og opstalter) samt bygningsmodellen (informationsniveau 4 opdateret til 6).
17. Forestå udbud vedrørende rengøringsentreprisen byggede på digital bygningsmodel informationsniveau 4.
18. Ombygning. Nye behov vedr. depot og omklædning, erkendt under byggefasen, blev dækket gennem omprojektering af mindre dele af bygningsmodellen (informationsniveau 4).

IKT-konceptet ligger inden for de relevante nationale guidelines og standarder, der er udviklet i forbindelse med DDB og Foreningen bips's publikationer. Primært '3D arbejdsmetode 2006', 'CAD-manual 2005-08', 'IT/CAD-projektaftale 2005', 'Objektstruktur 2009', 'Tegningsstandarder 2007' samt Foreningen bips's byggesagsbeskrivelse og beskrivelsesstruktur.

#### **Modelleringssoftware:**

Modelleringsværktøjer er for arkitekturfagmodellen: Autodesk Architectural Desktop (ADT) og Google Sketchup. For stålkonstruktionen: Tekla Structures. For betonkonstruktionen: Tekla Structures. For VVS: MagiCAD. For ventilation: MagiCAD. For el: MagiCAD.

Disse værktøjer understøtter derudover aktiviteterne: visualisering, tegningsgenerering, styklistegenerering og udveksling.

#### **Konsistenskontrol- og koordineringssoftware:**

Der blev udført kollisionskontrol med Solibri Model Checker. Koordinering mellem fagmodeller blev udført med Solibri Model Checker og Navisworks fra Autodesk. Under projekteringen blev fagmodellerne uploadet én gang om ugen på projektweb som fast rutine, derudover efter aftale indbyrdes mellem parterne.

#### **Simuleringssoftware:**

Energiberegning: Be06, Bsim.

Termisk simulering: Ansys CFX, BSim.

Akustik: Odeon.

Indretning: VR teknologi med anvendelse af Wii controller.

#### **Modeludveksling:**

Udvekslingen af modeller forgik til fremmed software gennem IFC formatet eller proprietært.

Vedr. detaljering og konkretiseringsgrad af bygningsmodellerne opererer IKT-konceptet med informationsniveau 2 under designfasen, informationsniveau 3-4 under projekteringsfasen og eksempler på informationsniveau 5 under udførelsesfasen (ventilationsfagmodellen).

## **IKT-konceptets potentialer**

For at kunne specificere de områder, der skal underkastes økonomiske målinger og vurderinger er der i projektgruppen blevet foretaget en analyse af de potentialer, IKT-konceptet indeholder ideelt. De faktisk udførte effektmålinger vil godtgøre, i hvilket omfang potentialerne er indfriet. Der peges på følgende nøgleprocesser struktureret i forhold til de faser, hvori de optræder.

### **Programfasen:**

- Afklaring af programmet for byggeprojektet ved hjælp af bygningsmodel, informationsniveau 0. Direkte effekt, kvalitativ. Målgruppe: Bygherre og arkitekt.
- Kommunikation mellem bygherre og arkitekt. Direkte effekt, kvalitativ. Målgruppe: arkitekt og bygherre.
- Etablering af udvekslingsplatform, projektweb. Direkte effekt, kvantitativ. Målgruppe: alle projektparter.

### **Designfasen:**

- Projektudvikling og lokal koordinering via 3D objektbaseret bygningsmodel. Direkte effekt, kvalitativ. Målgruppe: arkitekten og hovedrådgiver.
- Koordinering med de andre projektparter via 3D objektbaseret model. Direkte og indirekte effekter, kvantitativ. Målgruppe: arkitekt og andre rådgiverpartnere.
- Kommunikation med bygherre via 3D objektbaseret model gennem visualiseringer af model. Direkte effekt, kvalitativ. Målgruppe: rådgiverne og bygherre.
- Simulering af energiforbrug og omkostninger til anlæg og drift. Direkte effekter, kvantitativ. Målgruppe: rådgiverne og bygherren.

### **Projektering:**

- Myndighedsbehandling med brug af 3D objektbaseret bygningsmodel. Direkte og indirekte effekter, kvantitativ. Målgruppe: rådgiverne og myndigheder.
- Koordinering af projektinformationer, konsistenskontrol via bygningsmodel. Direkte effekt, kvantitativ. Målgruppe: arkitekt og andre rådgiver partnere. Afledt effekt: entreprenørerne.
- Udarbejdelse af komplet tegningsmateriale fra den 3D objektbaserede bygningsmodel. Direkte effekt, kvantitativ. Målgruppe: arkitekt og andre rådgivere.
- Simulering af bygningsfysiske egenskaber, energiforbrug, indeklima, CO2 og bæredygtighed mm. Indirekte og afledte effekter. Målgruppe: bygherren og samfundet.
- Inddragelse af produktionsinformationer, bygningsdelsobjekter, produktionsteknologi, bygbarhed mm. Direkte, indirekte og afledte effekter, kvantitativ. Målgruppe: rådgiverne, entreprenørerne og byggevareleverandørerne.
- Kalkulation af anlægsomkostninger og drift. Direkte og indirekte effekter, kvantitativ. Målgruppe: bygherren.

### **Udbud/tilbud:**

- Generering af styklister fra bygningsmodellen til mængdefortegnelser. Større sikkerhed i tilbudsgivningen. Direkte effekt, kvantitativ. Målgruppe: arkitekten og bygherre(arkitektrådgivning).

- Etablering af udbudsportal til digitalt udbudsmateriale samt til digitale tilbud. Afledte effekter, kvantitativt. Målgruppe: arkitekt plus hovedentreprenør og fagentreprenører.
- Billigere tilbud grundet den digitale bygningsmodel (bedre overblik over konstruktioner, bedre konsistens i projektmaterialet, automatisk generering af data).

#### **Produktionsforberedelse:**

- Konsistenskontrol af model for at opdage fejl i projektmaterialet. Afledte effekter, kvantitativ. Målgruppe: entreprenørerne.
- Bygningsmodel som støtte for detaljeret tids- og økonomiplanlægning, 4D-5D. Afledte gevinster, kvantitative. Målgruppe: hovedentreprenør.
- Specifikation af delkomponenter (komponenter og systemer) gennem digitale modeldata til underleverandører.
- Koordinering af arbejdet mellem fagentreprenører.

#### **Produktion:**

- Bygningsmodel som støtte for kvalitetssikring, færre fejl på byggepladsen. Afledte effekter, kvantitativ. Målgruppe: entreprenørerne.
- Bygningsmodel som støtte for projektstyring, indkøb og logistik (lean). Afledte effekter. Målgruppe: entreprenører, byggevareleverandører.
- Bygningsmodel som støtte for kvalitetssikring, herunder kontrol gennem tilsyn. Indirekte og afledte effekter. Målgruppe: arkitekt og entreprenører.
- Bygningsmodel som støtte til cashflow og projektøkonomi. Afledte effekter, kvantitative. Målgruppe: bygherren, rådgiverne og entreprenørerne.

#### **Drift og vedligehold:**

- Bedre driftsøkonomi gennem energisimulering via bygningsmodel i projekteringsfasen. Afledte effekter, kvantitative. Målgruppe: driftsherren.
- Bedre tilbudsgivning på driftsopgaver. Direkte effekt. Målgruppe: bygherre/lejer og FM servicevirksomheder.

## **Initiativet til IKT-konceptet**

Initiativet til at anvende en BIM orienteret arbejdsmetode kom fra Rambøll. Rambøll har en dobbelt rolle i projektet. På den ene side fungerer Rambøll som hovedrådgiver for projektet. De har ansvaret for projekteringen af stålkonstruktionen, betonkonstruktion og fundering og for de tekniske installationer. På den anden side har Rambøll indgået en lejekontrakt/leasingaftale for en årrække. Dette betyder, at Rambøll udover at have ansvaret som almindelig rådgiver også havde en interesse i, at anlægssummen blev så lille som muligt i forhold til kvalitet samt at byggeriet får lave driftsomkostninger. Krav og ønsker som normalt er repræsenteret hos en bygherre. Disse to hovedfunktioner har Rambøll holdt adskilt i hele projektforløbet, således at ønsker og interesser i den ene funktion ikke sætter begrænsninger for den anden funktion.

Rambøll har tidligere udviklet en BIM arbejdsmetode i virksomheden i forbindelse med større projekter, eksempelvis et 30.000 kvm. stort Koncert og Conferencecenter i Reykjavik, Island. Beslutningen om at anvende IKT-konceptet på RHO blev støttet af yngre projektmedarbejdere med erfaring med BIM arbejdsmetoden samt mere erfarne medarbejdere i organisationen, som har været styrende i implementering af CAD og BIM hos Rambøll. Der var fra start fokus på behovet for koordinering af et så stort projekt og BIM sås her som et lovende værktøj, ligesom BIM sås som en mulighed for at håndtere og ud-

veksle projektets mange informationer mellem parterne. Projektlederen for Rambøll HO havde ingen forudgående erfaring med BIM, men så mulighederne i IKT-konceptet. Projektlederen har efter projektets afslutning udtalt, at arbejdsmetoden levede op til hans forventninger, og at han ikke kan forestille sig at deltage i et projekt uden en BIM orienteret arbejdsmetode. Årsagen til denne konklusion var ikke så meget styret af overvejelser vedrørende økonomien i projektet, men mere mod den sikkerhed for sammenhæng i projektet, en digital bygningsmodel giver.

## Casestudiets parter

I en byggesag af RHO størrelse indgår der så mange parter og aktører, at det ikke har været muligt indenfor ØG-DDB projektets rammer at analysere dem alle. Da casestudiet er et af fire, hvor case 02 har fokus på den rådgivende ingeniør, har ØG-DDB projektgruppen valgt at have fokus på de væsentlige rådgivningsaktører hos Rambøll og herudover udvalgte repræsentanter for fagentreprenører og underleverandører. Disse er udvalgt i forhold til, at de repræsenterer medprojekterende eller alene brugere af rådgivernes fagmodeller.

### Projektledelsen af RHO, Rambøll

Bent Steen Andreasen (BSA) er projektleder på RHO. Civilingeniør. Han har lang erfaring med projektledelse, men ingen erfaring indenfor 3D arbejdsmetode.

### Projekteringen af stålkonstruktionen, Rambøll

Troels Hoff (TH) er fagleder for 3D design indenfor stålkonstruktioner. Civilingeniør. Har tidligere erfaringer med BIM og Tekla som modelleringsværktøj.

### Projektering af Betonkonstruktionen, Rambøll

Morten Alsdorf (MA) var CAD(BIM) koordinator på projektet. Han har erhvervet sig BIM kompetencer gennem uddannelsen til civilingeniør og senere i praksis hos Rambøll. MA har kompetencer indenfor en lang række BIM relaterede softwareprodukter.

### Udførelse af Betonkonstruktionen, Pihl&Søn

Udførelsen af råhuskonstruktionen blev udført af Pihl&Søn som partner i projektet.

### Projektering af installationer og bygningsfysiske simuleringer, Rambøll

Niels Trelldal (NT) er fagleder indenfor 3D design af HVAC (Heating, Ventilation and Air Condition) i Rambøll. Han har erhvervet sig BIM kompetencer gennem uddannelsen til civilingeniør og senere i praksis hos Rambøll. NT har kompetencer indenfor en lang række BIM relaterede softwareprodukter. MA har haft det overordnede ansvar for 3D modellerings- og 3D koordineringsmetoder.

### Udførelse af El-entreprisen, E. Pihl & Søn A/S

Peter Hansen (PH) var entrepriseleder for el-entreprisen i RHO projektet. Han er uddannet el-installatør og har desuden været byggeleder i mindre byggeprojekter. Hans erfaring med anvendelse af BIM værktøjer er begrænset. PH har arbejdet for E. Pihl & Søn i en årrække og RHO-projektet var det første han har gennemført, hvor der har været gennemført BIM projektering fra rådgiverne.

### Udførelse af Ventilationsentreprisen, Airteam

Jens Juul (JJ) er leder af ventilationsentreprisen. Han er oprindelig uddannet elektriker og senere omskolt til ventilationsområdet. Han har kompetencer indenfor IKT generelt, men ikke specielt BIM.

Airteam har kompetencer indenfor CADvent, MagiCAD (erhvervet under arbejdet med RHO), AutoCAD m.v.

### Udførelse af VVS entreprisen, Brøndum A/S

Esben Jakobsen (EJ) var entrepriseleder for VVS entreprisen. Han har arbejdet 10 år som montør/formand hos Brøndum og de efterfølgende 23 år som entrepriseleder. EJ har en gang tidligere været involveret i et byggeri af denne størrelse. EJ har ikke tidligere arbejdet i et byggeprojekt, som er projekteret ved brug af BIM.

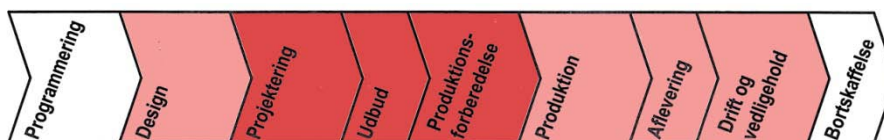
### Udbud af rengøringsentreprisen, Rambøll

Asger Lyngklip Jensen, Rambøll, var ansvarlig for rengøringsudbuddet. Rambøll er driftsherre på RHO.

## BIM karakteristika for casen

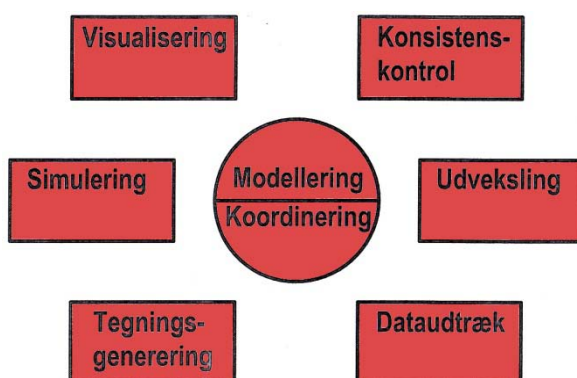
Her beskrives casen oversigtligt i en samlet BIM kontekst. Casens IKT-koncept placeres i forhold til: faser, der er involveret; hovedaktiviteter støttet af bygningsmodeller; det tekniske samarbejdsniveau samt modelniveau, som beskriver hvor intelligente de anvendte bygningsmodeller er. Mørk farve i graferne markerer: fuldt dækket; de lyse markerer: er repræsenteret, men i mindre omfang.

### Hvilke faser er involveret



Byggeprojektet repræsenterer hele IKT-konceptets procesforløb fra designfasen til drift og vedligehold. Da IKT-konceptet er forankret hos en ingeniørrådgiver, har det primære fokus været på aktiviteterne i projekteringsfasen, overvejende hovedprojekteringen. Digitale bygningsmodeller blev ikke anvendt i udbud/tilbudsfasen grundet den specielle partneringsamarbejdsform. De digitale fagmodeller indgår som de væsentlige koordineringsværktøjer mellem rådgiverne indbyrdes og i mindre omfang i relation til entreprenørerne i produktionsforberedelses- og udførelsesfasen. Modellerne anvendes af en enkelt af fagentreprenørerne ved selve produktionen. Digitale bygningsmodeller indgår som en del af afl leveringen. Da hovedrådgiveren, som har udviklet de fleste af fagmodellerne, er den fremtidige bruger af bygningen vil de digitale bygningsmodeller med stor sandsynlighed blive anvendt ved drift og vedligehold og ved renovering og ombygning. Der er allerede demonstreret eksempler på modelanvendelse til driften og ved en første ombygning.

### Hvilke hovedaktiviteter er involveret



Den følgende beskrivelse er hovedsageligt baseret på aktiviteter hos hovedrådgiveren, Rambøll. Den røde farve markerer, at aktiviteten er konstateret modelbaseret på vigtige områder. Dette gælder for udvalgte processer i projektet og ikke nødvendigvis alle. Den mørke farve indikerer modelbaseret på et højt niveau eller i et stort omfang, den lyse på et lavt niveau eller omfang (ikke repræsenteret her).

**Modellering** af fællesmodeller og fagmodeller indenfor de forskellige faglige discipliner, arkitektur, stålkonstruktioner, betonkonstruktioner, installationer (vand, varme, sanitet) og ventilation.

**Koordinering** foregår i et formaliseret samarbejde, styret af hovedrådgiveren. Fagmodeller bliver uploadet på projektweb. Der bliver gennemført konsistenskontrol, overvejende kollisionstjek mellem fagmodeller samlet i fællesmodeller. Der anvendes specialiseret konsistenskontrol-software.



**Konsistenskontrol.** Kollisionskontrol mellem fagmodeller og via fællesmodel med specialiseret konsistenskontrol software, Solibri MC samt Navisworks.

**Visualisering** fra model for kommunikation/præsentation og beslutningstagen til bygherren.

**Tegningsgenerering** fra bygningsmodeller til 2D tegninger på informationsniveau 3 til kommunikation mellem rådgivere og bygherre og myndigheder. Tegningsgenerering fra bygningsmodeller til 2D tegninger på informationsniveau 4 til udførelse.

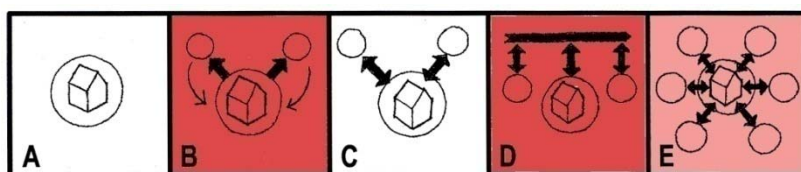
**Simulering** indenfor følgende områder, energi, indeklima, CFD (luftbevægelser), konstruktion, akustik og indretning.

**Dataudtræk** direkte fra bygningsmodel blev udført i en række tilfælde, eksempelvis i forb.m rengørings-entreprisen. Dataudtræk til beskrivende mængdefortegnelse blev ikke udført grundet samarbejds/licitationsformen. Rambøll kan og vil dække denne funktion i fremtidige projekter.

**Udveksling** af bygningsmodel med andre rådgivere i proprietære formater og via det neutrale fællesformat IFC.

Sammenfattende kan konkluderes, at samtlige hovedaktiviteter tilknyttet en 3D arbejdsmetode er godt repræsenteret i casen, men på varieret niveau, dog med hovedvægt på projekteringsfasen.

### Hvilke samarbejdsniveauer er involveret



Signaturforklaring:

**A:** Enkeltfags anvendelse af model. **B:** Envejsdeling af modelinfo. **C:** Tovejsdeling af modeller.

**D:** Distribuerede modeller på lokal server. **E:** Fuld integreret modelsamarbejde over netværk.

For definitioner af samarbejdsrelationer henvises til *Metodemanualen ØG-MM*.

Casen repræsenterer samarbejdsformen **distribuerede modeller på lokal server** (niveau D). Relationerne er deling af objektbaserede modeller over en lokal platform mellem adskillige af fagdisciplinerne. Distribuerede modeller betyder, at de er permanent til rådighed for projektets parter på fælles platform indenfor en projektmæssig aftale og en udvekslingsteknisk specifikation. Der er digital tovejskommunikation mellem de væsentlige af projektets parter, hvor tilbageførsel af information er foregået digitalt gennem uploading af fagmodeller på projektweb (niveau D) samt via en fælles projektserver (delvist niveau E). For de parter, der ikke indgår i modelsamarbejdet, gælder relationen **envejsdeling af modelinformation** (niveau B), altså tilbageførsel af information på en traditionel, dokumentbaseret form.

Hovedrådgiveren har været koordinator af modelarbejdet. Koordination mellem fagmodeller for konstruktion, installation er foregået 'in house' via en projektserver.

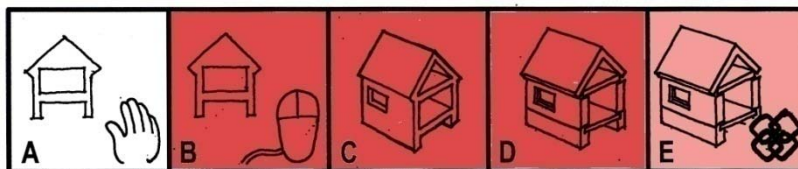
Koordinationen mellem hovedrådgiver og arkitekterne er foregået modelbaseret over internettet via en fælles projektserver.

Koordination med entreprenører er fortrinsvist foregået via digitale 2D tegninger og via modeludveksling for en af fagentreprenørerne (ventilation). Valget af 2D tegninger som medie beror ikke nødvendigvis på manglende kompetencer i de involverede virksomheder, men er også et udtryk for placering af medarbejderressourcen med de nødvendige kompetencer i den aktuelle projektportefølje.

Koordination og kommunikation med bygherren er foregået gennem 2D og 3D tegninger og visualiseringer og dialog.

Sammenfattende kan konkluderes, at samarbejdsrelationerne beskriver et for dagens danske byggesektor højt niveau.

### Hvilke modelniveauer er involveret



Signaturforklaring:

**A:** Manuel 2D tegning. **B:** Digital 2D tegning. **C:** 3D geometrimodel. **D:** Objektbaseret model.

**E:** Integreret BIM.

For definitioner af modelniveauer henvises til *Metodemanualen ØG-MM*.

Casen repræsenterer modelniveauer lige fra **digitale 2D tegninger** (niveau B), over rene **3D geometri-modeller** (niveau C) til mere intelligente, digitale bygningsmodeller, **objektbaserede modeller** (niveau D) til bygningsmodeller med BIM integration med IFC udvekslingsmulighed, **integreret BIM** (E, dog ikke fuld integration). Rådgiverne og nogle fagentreprenører arbejder i bygningsintelligente, objektbaserede modeller. Andre fagentreprenører anvender modellerne til visuel granskning via modelviewere (**geometrimodel**, niveau C).

I første fase frem til myndighedsprojektet arbejdes der med intelligente digitale bygningsmodeller, dog med bygningsobjekter på et generisk og/eller geometrisk niveau.

I projekteringsfasen videreføres/konkretiseres modellen fra informationsniveau 2 til niveau 4, således at bygningsobjekterne repræsenterer reelle bygningsdelstyper (forudsætning for bl.a. styklistegenerering). I udførelsesfasen deles fagmodellerne med fagentreprenørerne. Visse af fagentreprenørerne indgår i den konkretiserende projektering via fagmodeller i projektforberedelsesfasen. Tilbageføringen af informationer fra fagentreprenører til hovedrådgiver, bl.a. 'as built' dokumentation, foregår via modellerne og via tegninger.

Sammenfattende kan konkluderes, at casen repræsenterer et modelniveau på et højt plan. Digitale, objektorienterede bygningsmodeller er de primære informationsbærere i projektet. De understøtter hovedaktiviteterne i 3D arbejdsmetoden (koordinering og udveksling), som er rygraden i IKT-konceptet. Visse aktiviteter og funktioner er dog på et CAD-niveau (dokumentbaseret) som eksempelvis produktion af detaljetegninger. En stor del af tegningsmaterialet genereres fra fagmodellerne.

### Omkostninger

Omkostningerne forbundet med brugen af IKT-konceptet er vanskelig at opgøre præcist af flere grunde. For det første kan et IKT-koncept eller dele af det allerede indgå som en integreret del af en virksomheds arbejdsprocesser, og er derfor vanskeligt at afgrænse finansielt i det enkelte projekt. For det andet er der ofte ikke tradition for regnskabsmæssigt at styre omkostninger og effekter ved introduktion af nye arbejdsmetoder og -rutiner i virksomhederne. Omkostningerne vil optræde indirekte i virksomhedens regnskaber og indgår ikke i en benchmarking af nye processer. For det tredje vil initiale omkostninger og driftsomkostninger til nye arbejdsmetoder, værktøjer, kompetenceløft m.v. være fordelt over en lang række projekter, samtidigt med kompetenceløftet og softwareinvesteringerne vil være foretaget på et tidligere tidspunkt, og bliver således betragtet som afskrevne eller under afskrivning. Omkostningerne

er specielt vanskelige at opgøre i relativt store virksomheder på grund af bl.a. omfanget af projekter og antallet af medarbejdere (kompetenceløft), der indgår.

Omkostningerne i forbindelse med anvendelsen af IKT-konceptet er blevet opgjort på basis af en række forudsætninger, som projektgruppen har opstillet og som kort listes i det følgende:

- Casens IKT-koncept bliver reelt anvendt i en række forskellige byggeprojekter, og derfor er det valgt at fordele de registrerede omkostninger som en procentvis andel i forhold til hele projektporteføljen og som årlig udgift i IKT-konceptets afskrivningsperiode, her sat til 3 år.
- Driftsomkostningerne til opgraderinger m.v. er beregnet ud fra casens økonomiske andel af virksomhedens årlige omsætning. Andre almindelige driftsmæssige omkostninger (f.eks. forbrug af strøm, plotning, standard software etc.) ved brug af IKT-konceptet medtages ikke i denne opgørelse.
- Omkostninger i forbindelse med køb og leasing af software vil kun blive anført i de situationer, hvor projektet decideret kræver nye licenser af BIM software for at kunne gennemføre arbejdsprocesser. Baggrunden er, at alternativet vil kræve licenser til anden software, eksempelvis på CAD-niveau, AutoCAD o.l. som omkostningsmæssigt vil ligge på samme niveau.

Omkostningerne ved IKT-konceptet er opgjort inden for 2 hovedkategorier: engangsudgifter i forbindelse med udvikling og implementering samt driftsomkostninger. Omkostninger er registreret for de virksomheder, der er udvalgt til at repræsentere casen. På rådgiversiden er der sat fokus på hovedrådgiveren, Rambøll, og på udførelsessiden er udvalgt: stålkonstruktion, beton/råhus, vvs, ventilation. På driftsiden er valgt rengøring.

De totale omkostninger for alle IKT-konceptets parter kan således ikke opgøres, men de følgende økonomiske opstillinger vil give et fingerpeg om omkostninger, effekter og gevinster for de aktører, der er udpeget af projektgruppen. Endelig vil en del af effekterne være af kvalitativ art, og dermed vanskelige at få ind i en samlet oversigt over IKT-konceptets gevinster.

### **Udviklings- og implementeringsomkostninger (investeringer)**

Inden for denne hovedkategori er der beregnet følgende investeringer forårsaget af IKT-konceptet:

#### **Rambøll:**

- Udviklingsindsats. Ingen målt omkostning, da konceptudviklingen foregår uformelt i forbindelse med byggeprojekterne.
- Ny hardware. Ingen målt omkostning, da IKT-konceptet ikke kræver specielt hardware.
- Ny software. For ingeniørrådgivere: 50.000 kr. (Solibri MC)). Der er anvendt ca. 20 licenser af software, som kan relateres til en BIM anvendelse. Rambøll vurderer, at det erstatter mere traditionelt software, såsom AutoCAD, i et omfang og med en omkostning, der er af samme størrelsesorden. Derfor vurderes det ikke som meromkostning, udover merinvesteringen i Solibri MC.
- Brugert raining. Ingen målt omkostning, da det oplyses at oplæring er sket ved sidemandsoplæring fra rutinerede brugere.
- Implementering. Ingen målt omkostning, da det oplyses at implementeringen af 3D arbejdsmetoden foregår – og har foregået - løbende i virksomheden indenfor de enkelte byggeprojekters projektøkonomi.

Totalt er de årlige udviklings- og implementeringsomkostninger sat til 50.000 kr.

#### **Pihl&Søn (el entreprisen):**

Ingen specielle omkostninger i forbindelse med 3D arbejdsmetoden. P&S anvendte gratis viewer.

**Airteam, (ventilationsentreprisen):**

Indkøb af software til opgaven: 100.000 kr. Opgradering af medarbejderkompetencer: 500 timer = ca. 300.000 kr. Fordelt over 3 projekter er investeringen på 133.333 kr.

**Brøndum A/S:** Ingen direkte omkostninger, dog opstilling af A3-printer, scanner og ekstra skærme i skurvognen. Ingen software blev indkøbt. Samlede merudgifter i forhold til BIM arbejdsmetode: 20.000 kr. (estimat af projektgruppen).

**Driftsomkostninger**

I denne hovedkategori er der målt følgende driftsomkostninger:

- Soft- og hardware vedligeholdelse (Tekla: 3x10.000 i 3 år = 90.000 kr., Solibri MC: 2x9.000 i 3 år=54.000, MagiCAD: 5x3000 i 3 år=45.000)
- Softwareopgraderinger, nye versioner: er indeholdt i soft- og hardware vedligeholdelse.
- Leje af software og hardware: ingen ekstraomkostninger, samme omfang som øvrige projekter.
- Helpdesk: ingen omkostning, samme omfang som øvrige projekter.

Totalt er der målt driftsomkostninger i projektet for hovedrådgiveren på: 189.000 kr.

**Pihl&Søn (el entreprisen):**

Ingen driftsomkostninger i relation til BIM arbejdsmetoden.

**Airteam, (ventilationsentreprisen):**

Ingen driftsomkostninger i relation til BIM arbejdsmetoden.

**Hovedproces 1: Projekteringsledelse og projektering med brug af fag- og fællesmodeller****Generel beskrivelse af hovedprocessen**

I den indledende designfase, hvor arkitekt, ingeniørrådgiver og bygherre var aktive, fungerede bygningsmodellen i 3D som en fælles visuel platform. Bygningsmodellens overordnede rolle var at formidle form, struktur og udseende. Disse hovedfunktioner blev simuleret visuelt af arkitekten, og var med til at skabe en fælles konsensus om projektets egenskaber og kvaliteter indbyrdes mellem rådgiverne og i dialog med bygherren.

I selve projekteringsfasen, hvor bygningsdesignet bliver konkretiseret, blev der anvendt en BIM orienterede arbejdsmetoder. Der blev arbejdet med fagmodeller indenfor de involverede fagdiscipliners ansvarsområder: arkitektur, konstruktioner (stål og beton), vvs og ventilation. Her fungerede bygningsmodellerne stadig som et fælles, visuelt referencegrundlag. Men hovedfunktionen for bygningsmodellerne var her at koordinere de forskellige fagområder for rådgiverne. Her blev arkitektens designmæssige ønsker omsat til ingeniørmæssige løsninger og de bygningsfysiske ønsker blev tilsvarende omsat til designløsninger.



Fig. 3: Foto der viser det fælles projektrum, 'Big Room', der blev etableret for medarbejdere ved Rambøll, Dissing+Weitling og Pihl&Søn. Kilde: Rambøll.

Det blev indledningsvist besluttet at anvende det fagligt mest egnede software til de specialiserede funktioner hos parterne. Det betød, at der var mange forskellige programmer i spil og udvekslingen blev derfor gennemført via det neutrale udvekslingsformat IFC.

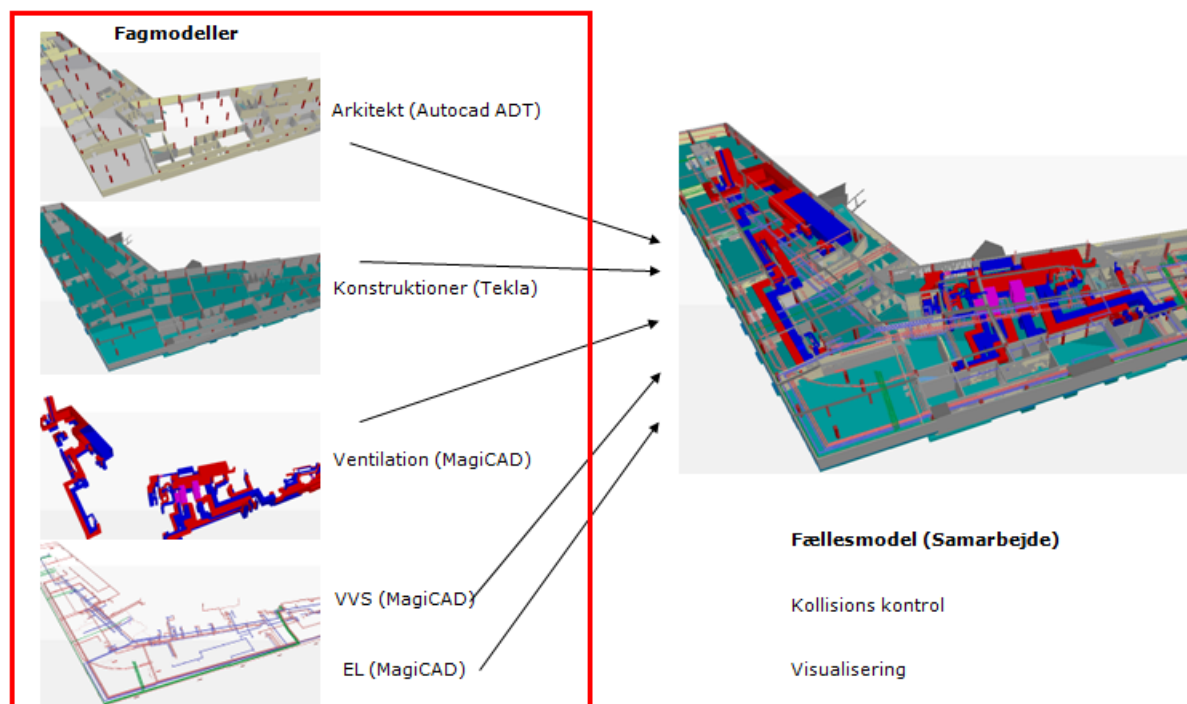


Fig 4: Figuren viser de fagmodeller, der indgik i IKT-konceptets 3D arbejdsmetode. Rådgiverne arbejdede med fagmodeller for deres ansvarsområder og de blev samlet i fællesmodeller til kollisionskontrol og visualiseringer. Kild: Rambøll.

De involverede fagmodeller blev udviklet til informationsniveau 4 og har følgende specifikation:

Arkitekt-fagmodellen blev udviklet på Autodesk Architectural Desktop (ADT).

Konstruktions-fagmodellen blev udviklet på Tekla Structures.

VVS og ventilations-fagmodellen blev udviklet på MagiCAD.



El-fagmodellen blev udviklet på MagiCAD.

Fagmodellerne blev samlet til fællesmodeller gennem programmet Solibri MC.

Kollisionskontrol blev udført mellem fagmodeller gennem Solibri MC.

Visualiseringer blev udført af arkitekturrådgiveren med Google Sketchup (gratis software) og viewer-funktionen blev udført med NavisWorks.

Tegningsgenerering blev udført med de modelleringsprogrammer, der blev anvendt til fagmodellerne.

Bygningens åbne atrium medfører risiko for trækgener og akustikproblemer, hvorfor der blev udført CFC simuleringer af luftbevægelser med ANSYS CFX og akustiske simuleringer med programmet Odeon.

Udvekslingen blev gennemført proprietært og ved eksport til og import fra IFC formatet.

Der blev etableret et fælles projektrum hos Rambøll, et 'big room', hvor de væsentlige parter i projektet, arkitekt, ingeniørrådgiver og entreprenør, blev samlet fysisk. Denne arbejdsform har tidligere givet positive resultater for parterne og blev derfor valgt. Arbejdsformen underbygger den integration, der var i projektet og i samarbejdsformen, og understøtter således IKT-konceptet og BIM processerne. Disse fysiske samarbejdsformer vil kunne udnyttes i de senere processer, hvor dele af kommunikationen ellers foregår udelukkende digitalt over projektweb.



*Fig. 5: Figuren viser et eksempel på modelbaseret brugerinvolvering gennem at anvende et Virtual Reality setup, så de kommende brugere gennem animationer og VR kan træffe beslutninger vedrørende deres fremtidige arbejdsplads. Kilde: Rambøll.*

En funktion, som er speciel for RHO projektet, var tidligt i projekteringsfasen at inddrage brugerne, for ved hjælp af bygningsmodellen at kunne simulere brugernes behov og ønsker. Dette blev gennemført ved et Virtual Reality setup, hvor der blev anvendt en computerspilmotor og en controller til en Nintendo Wii, således at brugerne virtuelt kunne bevæge sig rundt i bygningen. Denne teknologi blev anvendt til bygningsindretningen, hvor man simulerede forskellige møbleringsscenarier, farvevalg på vægge, gulvmaterialer etc., således at de kommende brugere fik indflydelse på designløsningerne på indretningen. RHO indgik i afprøvningen af Virtual Innovation in Construction Method (VIC-MET), som er en IT-understøttet metode til brugerinvolvering. VIC-MET er blevet udviklet i samarbejde mellem Aalborg Universitet, Arkitema og Rambøll og kombinerer partneres egne praktiske erfaringer med en teoretisk tilgang til brugerforståelse og -involvering. VIC-projektet er udviklet under Erhvervs- og Byggestyrelsens program om Brugerdriven Innovation. (reference: <http://www.vicspace.dk>).

I hovedprojekteringsfasen blev bygningsmodellerne anvendt til konsistenskontrol af hele bygningskonstruktionen. Der blev ført jævnlig kollisionscheck mellem fagmodeller indbyrdes og gennem samling af



fagmodellerne til en fællesmodel for projektet. Vigtige kollisionskontroller blev udført mellem arkitekturmodel og konstruktionsmodel og igen op imod installationsmodellerne, således at eksempelvis installationsrør og kanaler ikke gennembrød den bærende konstruktion uplanlagt. Denne hovedfunktion sikrede et konsistent projektmateriale til aflevering til entreprenørerne.

Endelig blev fagmodellerne anvendt til en hurtigere kommunikation til udveksling af information mellem parter. Der blev opbygget faste procedurer for indhold af modeller, placering på projektweb, intervaller for opdatering og status for modellerne, således at parterne kunne tilgå projekthinformation umiddelbart og på en struktureret måde. Der blev i starten af projektet indgået en aftale mellem parterne vedr. teknisk specifikation af BIM samarbejdet, en IKT-specifikation.

#### Kilder:

De følgende beskrivelser af rationaliseringsgevinster bygger på interviews med: Bent Steen Andersen (BSA), projektleader RHO, Rambøll; Morten Alsdorf (MA), CAD-koordinator, Rambøll; Niels Trelldal (NT), fagleder for 3D HVAC design, Rambøll; Troels Hoff (TH), fagleder for stålkonstruktioner, Rambøll; Jens Juul (JJ), entrepriseleder på ventilation, Airteam; Peter Hansen (PH), entrepriseleder på el, Pihl&Søn; Esben Jacobsen (EJ), entrepriseleder på VVS, Brøndum

### Rationaliseringsgevinster

De primære rationalitetsgevinster i denne hovedproces beskrives ved 1) delproces, 2) gevinstværdi, 3) realisor af gevinsten og 4) kilden. Delprocesbeskrivelsen indeholder rationalet i effekten. Gevinstværdien beskriver målte gevinster (finansielt i kr. eller på en skala fra A – D, hvor A er den højeste værdi). Gevinsttyper skelner mellem kvantitative og kvalitative gevinster (vægtes fra A – D). Realisor er de aktører, der får gavn af gevinsten. Kilden beskriver den aktør, der har leveret informationen. Gevinstområderne er grupperet i forhold til den kontekst, de optræder i. Der sondres mellem direkte, indirekte og afledte gevinster afhængigt af projektpart og placering i processen. De potentielle effekter er ikke realiserede gevinster, der opstår enten i dialogen med caseaktørerne eller alene fra projektgruppen. For uddybning af definitioner af gevinsttyperne henvises til Metodemanualen ØG-MM.

#### Direkte effekter

- Generelt: **Bedre kommunikation med samarbejdsparter (A, tilfalder alle parter) JJ+NT**  
Færre afklaringer og misforståelser mellem parterne end tidligere ved traditionel proces. Konstatning af misforståelser og afklaring til enighed tager tid, og hertil kommer at projektmaterialet skal opdateres, hvilket tager yderligere tid. Da hovedrådgiver er projekteringsansvarlig ligger denne gevinst hovedsagelig hos denne, men er også placeret hos samarbejdsparterne. Det er udtrykt fra projekteringsgruppen, at BIM i væsentlig grad har betydet, at de enkelte fagområder (eksempelvis konstruktion, el og vvs) bedre har kunnet koordinere deres fagmodeller med hinanden og derved undgået kollisioner mellem de byggede objekter.
- Projektering: **Mindre behov for fysisk kommunikation (C, færre koordinerings- og afklaringsmøder, tilfalder alle rådgivere). NT+MA**  
I og med at der er blevet udarbejdet digitale bygningsmodeller, som har været anvendt til formidling af, hvordan bygningens geometri og struktur er opbygget har der været en reduktion af behovet for fysisk kommunikation mellem byggeprojektets parter. Ofte har bygningsmodellerne kunne tilfredsstille eventuelle informationsbehov undervejs i byggeprocessen. En medvirkende årsag til denne effekt er at der i projekteringsfasen blev indrettet et fælles projektrum. IKT-konceptets andel af gevinsten er derfor vanskelig at isolere og måle.
- Projektering: **Mere konsistent projektmateriale med reduktion af fejl (eksempel: en gevinst på 50.000 kr. pr. etage for dørentreprisen, tilfalder hovedrådgiveren og afledt entreprenørerne og bygherren). MA**

**Eksempel:** Under projekteringen af bygningens dørpartier blev der konstateret en række gevinster ved gennemførelsen af kollisionskontrol. En af de større og konkrete gevinster var, at der var projekteret ca. 100 dørhuller på en af etagerne, som kollisionskontrollen viste sig var dimensioneret forskelligt fra 'dør'-entreprisens specifikationer. Denne fejl blev fanget allerede i projekteringsfasen, hvilket betød reducere af antallet af diamantskæringsopgaver på byggepladsen samt et tilsvarende antal produktionsstop på byggepladsen.

### Installationer / konstruktioner

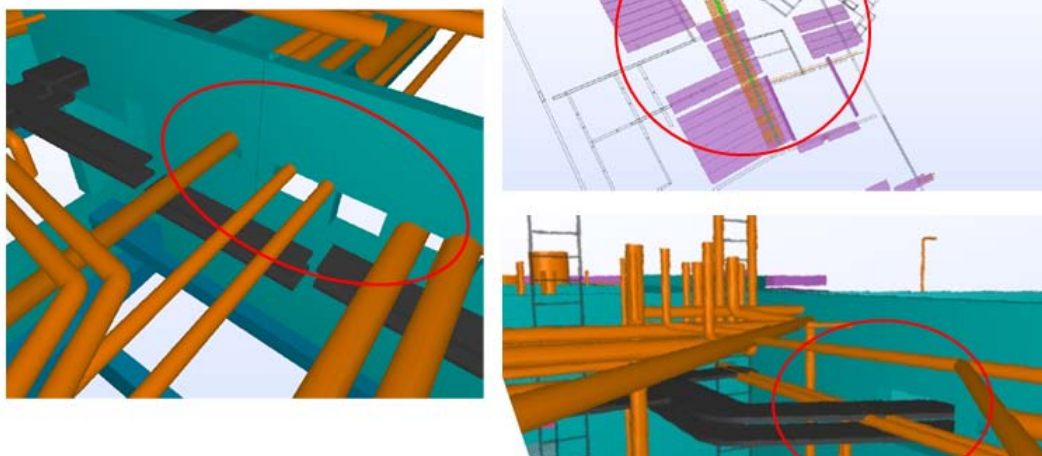


Fig. 6: Figuren viser en gennemført kollisionskontrol mellem konstruktionsfagmodellen og installationsfagmodellen. Kontrollen viser en kollision mellem rør og bærende væg, som blev opdaget under projekteringen og rettet før den fik store konsekvenser på byggepladsen. Kilde: Rambøll.

- Projektering: **Hurtigere ændringer og opdateringer af projektmaterialer, besparelse i tid og bedre konsistens (B, tilfalder stålkonstruktionsrådgiver) TH**

Den modelbaserede arbejds metode gav en nemmere og hurtigere tegningsproduktion generelt. I forhold til en traditionel arbejds metode har det eksempelvis for stålkonstruktionsområdet krævet færre tidsressourcer at generere brugbare produktionstegninger/arbejdstegninger.
- Projektering: **Automation ved generering af tegningsmateriale fra bygningsmodellen ved brug af stål-modelleringsværktøj (40.000 kr. (5 % af stålprojekteringen), tilfalder entreprenøren) TH**

I byggeprojektet blev der bl.a. realiseret en gevinst ift. generering af produktionstegninger (som blev anvendt af stålentreprenøren) ved brug af værktøjet Tekla i stålentreprisen. Tekla har en høj grad af automation til generering af arbejdstegninger, specielt detaljetegninger, målrettet producenten.
- Projektledelse: **Hurtig afvikling af ingeniørprojekterings teamet (fra 40 mand til 10 på 4 uger – modsvarende en afvikling på 10 uger som normalt, besparelse på kr. 3.767.500, tilfalder hovedrådgiver) BSA+NT**

Projektopfølgning fra de projekterende til de udførende har været bemærkelsesværdig begrænset på RHO projektet, hvilket betød en meget hurtig tilpasning af medarbejderstaben hos rådgiverne. Ingeniørrådgivers medarbejderstab blev reduceret fra 40 mand til 10 på ca. én måned. Denne reduktion er meget hurtigere end ved et tilsvarende, traditionelt udført projekt. I et traditionelt gennemført projekteringsforløb afvikles projekterings teamet typisk over en periode

på to måneder. Den primære årsag til denne gevinst skyldes ifølge ingeniørrådgiveren, at koordineringen og konsistenskontrollen udført på den digitale bygningsmodel reducerer fejl og mangler ved projektmaterialet og dermed reducerer behovet for ekstra kontrol, efterprojektering og konstruktionsændringer på byggepladsen.

Der vil sandsynligvis kunne måles en tilsvarende gevinst hos arkitektrådgiveren. Denne er dog ikke blevet gennemført.

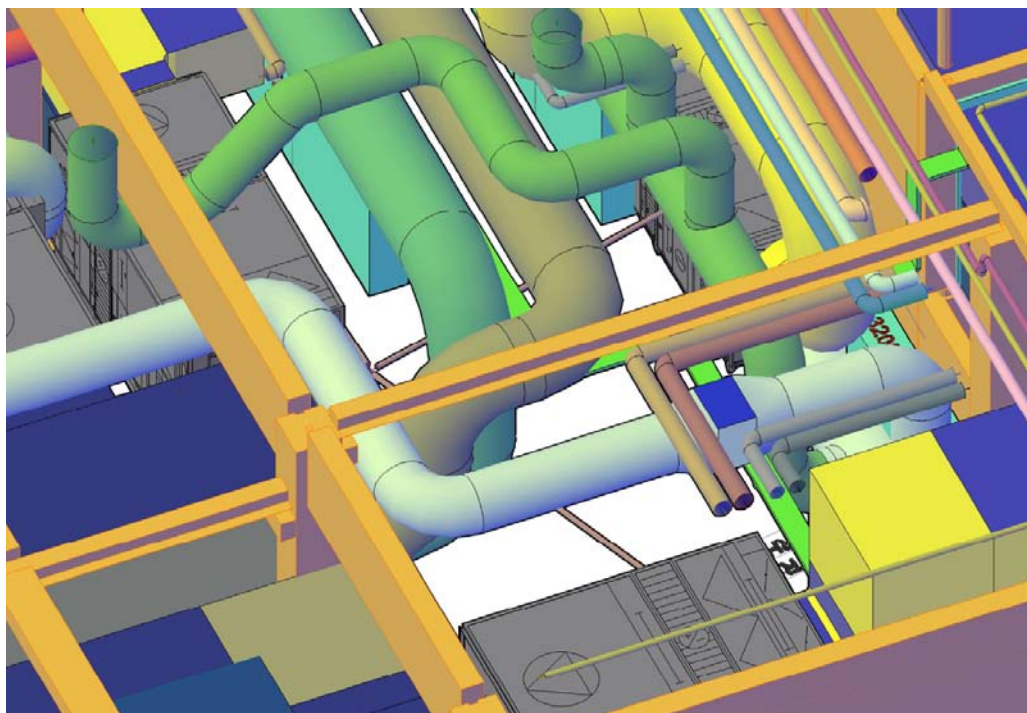


Fig. 7: Rumligt billede der viser en fællesmode, hvor man har samlet ventilationssystemer og vvs installationer op imod konstruktionsmodellen for koordinering.

#### Indirekte effekter

- Projektledelse: **Bedre medarbejderinvolvering (A (del af 20 % produktivitetstigning), tilfalder hovedrådgiver) BSA+NT+MA**

To forhold er centrale for denne gevinst hvori (a) uddelegering af ansvar og arbejdsopgaver giver øget engagement og (b) understøtning af ildsjæle (for øget digitalisering) er vigtige bestanddele for at medarbejderen yder mere end traditionelt. En 20 % produktivitetstigning som resultat af en større medarbejderinvolvering er angivet af projektlederen. Denne produktivitetstigning kan ikke alene tilskrives IKT-konceptet, men projektlederen vurderer, at det har bidraget væsentligt.

- Projektledelse: **Bedre motivation (C, tilfalder alle parter) MA+BSA**

Generelt har brug af BIM i byggeprojektet betydet, at medarbejderne har haft en betydelig bedre motivation for at skabe et bedre byggeprojekt. Denne gevinst skyldes primært 2 forhold; (a) for Rambøll medarbejderne at byggeprojektet omhandlede de fysiske forhold for deres kommende arbejdsplads og (b) at den anvendte teknologi (dvs. BIM) er en front-end teknologi, hvilket giver en værdifuld erfaringstilegnelse ift. fremtidige byggeprojekter. Gevinsten kan altså ikke alene medregnes BIM.

- Projektering: **Bedre procesforståelse gennem BIM (A, tilfalder alle parter) MA +BSA**

RHO-projektet har givet projektdeltagerne en bedre forståelse af, hvordan samarbejdsproces-

sen kan optimeres gennem en 3D arbejdsmetode. Denne viden og forståelse vil kunne realiseres som direkte rationalitetsgevinster i fremtidige byggeprojekter, der anvender en 3D arbejdsmetode.

- Projektledelse: ***Bedre forudsigelighed projekteringsprocessen- projektet afleveret til tiden(A, tilfalder hovedrådgiver) BSA+NT***

Bedre styring af projekteringsprocessen gennem 3D arbejdsmetode. Det har været muligt at gennemføre en konsistent forventningsafstemning blandt alle byggeprojektets parter – særligt har det været en fordel at kunne konkretisere hvad de andre parter har behov for data og viden har været som funktion af byggeprocessen. En øget sikkerhed i registrering af fremdriften af projektet.

#### Afledte effekter

- Projektering: ***Bedre indeklima under drift grundet simulering af bygningsfysiske egenskaber baseret på bygningsmodel (A, tilfalder bygherre og brugere) NT***

Der var fra programfasen stor fokus på bygningens energiforbrug og indeklimatekniske egenskaber. Derfor var der krav om detaljerede simuleringer af bygningens bygningsfysiske egenskaber. Der blev udført simuleringer for brand, temperatur og akustik samt detaljerede simuleringer af udvalgte zoner. Specielt atrie i bygningen gav udfordringer vedr. termik (luftstrømme) og akustik. Simuleringerne var delvist baseret på 3D modellerne. Omfanget af simuleringer var på samme niveau som tidligere projekter, men de var mere detaljerede og grundige, da geometrien var veldefineret grundet bygningsmodellen. Gevinsten er, at man afledt har skabt et atrium som termisk og akustisk fungerer rigtig godt. Man forventer at opnå højere produktivitet end i bygninger, hvor disse egenskaber er ringere. Kvaliteten af indeklimaet vurderes højt af medarbejderne efter indflytning.

- Projektledelse: ***Mulighed for større kompleksitet i bygningsdesignet. (B, tilfalder arkitekt, hovedrådgiver og bygherre) MA***

Bygningsdesignet indeholder relativt komplekse løsninger, som ellers ikke ville have været muligt med en traditionel projektering. Eksempler på disse er (a) brug af 4 koordinatsystemer til håndtering af bygningens overordnede geometri, (b) realiseringen af bygningens hældning (i boomerangens spidser) og (c) etablering af fals i bygningens vægge.

#### ***Et eksempel: Komplexitet af søjle/vægge not/fals-samling, MA***

Et konkret eksempel på de øgede kompleksitetsmuligheder ved hjælp af 3D modeller er projektering af gennemgående not/fals-samlinger mellem både væg- og søjlekonstruktioner (både bærende og ikke bærende konstruktioner). Disse not/fals-samlinger går på tværs af både ikke bærende og bærende væg konstruktioner i bygningen. Disse samlinger vil kun med større ekstra omkostninger kunne realiseres i et byggeprojekt, som ikke anvender 3D arbejdsmetoder.

#### Potentielle gevinster

- Projektering: ***Bedre bygbarhed ved inddragelse af produktions- og produktinformationer (tilfalder rådgiverne, entreprenørerne og byggevarerleverandørerne).***

Inddragelse af information om byggevarer, produktionsteknologi, bygbarhed mm. modelbaseret. Er kun sporadisk til stede i dag, men er voksende. Effekten ligger under udførelsen.

#### IKT-risikovurdering

- Projektering: ***Manglende kompetencer og software licenser (C, vedrører rådgiverne) NT***

Ved byggeprojektets start havde Rambøll ikke en udbredt kompetence til håndtering af konsi-

stens- og kollisionskontrol af den digitale bygningsmodel. I RHO-projektet blev behovet for at kontrollere og kvalitetssikre den digitale bygningsmodel dog hurtigt erkendt som en væsentlig forudsætning for at kunne gennemføre intentionen om BIM projektering. Det blev derfor valgt at indkøbe flere licenser af 'Solibri Model Checker' som koordinationsværktøj.

- Projektering: **Forskel i software udgangspunkt (informationsdybde) (B, vedrører alle) NT**  
Indledningsvist var det en udfordring i byggeprojektet at håndtere forskellene mellem de projekterendes og de udførendes forskellige CAD og BIM-værktøjer. Dette gjaldt både internt i Rambøll og eksternt mellem parterne i byggeprojektet. Specielt er det afgørende om CAD/BIM-værktøjets datastruktur er fil- eller database-baseret. Problemet blev løst ved at beslutte at udveksle via et fællesformat (IFC).
- Projektering: **Forskel i kompetenceniveau mellem parterne (B, vedrører alle) NT**  
Ved projektstart var en vis skepsis overfor beslutningen om at anvende en 3D arbejdsmetode i et integreret samarbejde mellem flere parter. Der var usikkerhed fra visse faggrupper, specielt repræsenteret hos de udførende, forårsaget bl.a. af frykten for nye procedurer, der kan komme i konflikt med virksomhedernes indarbejdede dokumentbaserede forretningsgange vedr. processtyring, kvalitetskontrol, fejlregistrering o.l. Der var en meget varieret udnyttelse af potentialerne i IKT-konceptet hos fagentreprenørerne, lige fra at være medprojekterende på bygningsmodellen til alene at anvende en model-viewer til at orientere sig i modellen. Alle faggrupper vurderer dog resultatet som positivt. Nogle faggrupper fravalgte at basere deres kommunikation og koordinering på 3D modellen, og holdt fast i udveksling via dokumenter - herunder 2D tegninger - for at kunne opretholde deres workflows og omfattende planlægnings- og kontrolsystemer er baseret på traditionel dokumenthåndtering. Men det ser umiddelbart ud til, at der høstes fordele i form af øget kvalitet og bedre koordinering under sagsforløbet også hos dem, der holder fast i at benytte 2D tegninger, da disse jo i denne sag på forhånd jo er bedre koordineret gennem modellen.

## Hovedproces 2: Udbud/tilbud og produktionsforberedelse

Der blev ikke udført en traditionel udbudsforretning, da hovedentreprenøren var med fra starten i partnerskabet. Derfor blev der ikke genereret et traditionelt udbudsmateriale (tegninger, beskrivelser etc.). Der blev oprettet en projektweb, hosted hos Rambøll, hvor projektmaterialer blev uploadet. Her var der adgang til det samtlige projektmateriale i digital form. Én af case-aktørerne, en fagentreprenør, benyttede bygningsmodellen ved de senere justeringer af tilbud i forb.m. forhandling om ekstra ydelser. Alle andre fagentreprenører udnyttede ikke potentialerne i modelrepræsentationen udover visualiseringsmuligheder for overblik over bygningen ved 3D viewing af modellen.

Med hensyn til produktionsforberedelse var én af fagentreprenørerne, Airteam for ventilationsentreprisen, medprojekterende i produktionsforberedelsen med bidrag til at optimere så meget som kunne optimeres. Airteam bidrog ligeledes med konstruktive indspark (herunder input til valg af konkrete produkter) til projekteringsfolkene i afslutningen af projekteringsforløbet.

Inden udførelsen blev igangsat blev der gennemført en kollisionskontrol mellem de forskellige fagområder (dette forløb foregik over 3-4 mdr.). Koordinering blev foretaget ved at teams fra el, vvs, sprinkler og ventilation sad sammen ved en storskærm og blev enige om løsningerne. Diskussion fra et fælles grundlag er af fagentreprenøren vurderet som meget positivt. Denne fremgangsmåde er vurderet som væsentlig mere effektiv end den traditionelle. Der blev således konstateret en væsentlig reduktion i tids-



forbrug på byggepladsen grundet få byggestop. Det blev udtrykt ved 'at det er nemmere at rette fejlen i modellen end i virkeligheden' (JJ fra Airteam).

Airteam var medprojekterende modelbaseret, anvendte MagiCAD.

Pihl&Søn var ikke medprojekterende og modtog traditionelle dokumenter i form af 2D tegninger og beskrivelser. De anvendte en gratis version af NavisWorks og Tekla viewer til modelgranskning.

Alle projektdokumenter blev uploadet til byggeprojektets projektweb – herunder både beskrivelser, tegningsmateriale og de digitale bygningsmodeller.

De følgende beskrivelser af rationaliseringsgevinster bygger på interviews med: Bent Steen Andersen (BSA), projektleder RHO, Rambøll; Morten Alsdorf (MA), CAD-koordinator, Rambøll; Niels Trelldal (NT), fagleder på energi og installationer, Rambøll; Troels Hoff (TH), fagleder for stålkonstruktioner, Rambøll; Jens Juul (JJ), entrepriseleder på ventilation, Airteam; Peter Hansen (PH), entrepriseleder på el, Pihl&Søn; Esben Jacobsen (EJ), entrepriseleder på VVS, Brøndum.

#### Direkte effekter

- Produktionsforberedelse: **Reduktion i tid ved bedre koordinering mellem fagmodeller (B, tilfalder alle rådgivere) MA**  
BIM har i væsentlig grad betydet at fagområderne konstruktion og installationer bedre har kunnet koordinere deres fagmodeller med hinanden og derved undgå kollisioner mellem de byggede objekter. Fagmodellerne blev anvendt til kvalitetssikring og til at sikre at koordineringen mellem disciplinerne forgik nemt og hurtigt.

#### Indirekte effekter

- Produktionsforberedelse: **Reduktion i tid ved informationsoverførsel til stålleverandør via modeller til numerisk styret produktion. (15 %, tilfalder stålentreprenør) TH**  
Stålentreprenøren blev tidligt inddraget for aftaler om rationel dataudveksling. Dvs. færre 2D detaljetegninger, i stedet modeldata i form af stålfagmodel til numerisk styret produktion. Stålentreprenøren fik fra hovedrådgiver udleveret produktionstegninger (i reduceret omfang) og fagmodellen for stålkonstruktionerne som grundlag for deres egenproduktion. Entreprenøren opbyggede selv sit produktionsgrundlag via virksomhedens eget software, 3D-Structural Design.

#### Afledte effekter

- Produktionsforberedelse: **Reduktion i tid ved projektering og koordinering mellem fagområder med anvendelse af BIM og 'big room'(60 % af projektering og koordinering: 3.240.000 kr., tilfalder fagentreprenør) JJ**  
Airteam var medprojekterende og medvirkede aktivt i koordineringen. Inden udførelsen blev igangsat blev der gennemført en kollisionsskontrol mellem de forskellige fagområder. Dette forløb foregik over 3-4 mdr. Koordinering blev foretaget ved at faggrupperne fra el, vvs, sprinkler og ventilation sad sammen ved en storskærm og blev enige om løsningerne. Diskussion ud fra et fælles grundlag er vurderet som meget positivt. Opsummeret var denne fremgangsmåde væsentlig mere effektiv end den traditionelle. JJ vurderede, at de havde anvendt 30-40 % af den tid de plejer at anvende på "rødtegnig". Det er mere rationelt at rette på model i stedet for at



rette tegninger. Projektering og koordineringsdelen udgør ca. 15 % af entreprisesummen (36 mio. kr.).

- Udbud/tilbud-ventilation: **Reduktion i tilbud ved forhandling af entreprisenum for merarbejder (Ingen målinger, tilfalder bygherre) JJ**  
Det oprindelige tilbud var på 29 mio. kr. Der blev herefter forhandlet tilrettelser til projektet, hvor bygningsmodellen blev anvendt til at trimme entreprisen. At det endelige beløb blev på 36 mio.kr. skyldes at projektet, efter tilbudsgivningen, blev energioptimeret og tilføjet nye ønsker fra bygherren. Det er vurderet af ventilationsentreprenøren, at uden den digitale bygningsmodel som værktøj ville den supplerende tilbudsgivning have været noget højere. Hvor meget højere har det ikke været muligt at få oplyst.
- Produktionsforberedelse: **Reduktion i ressourceforbrug ved materialebestillinger håndteret digitalt (20-25 % besparelse på materialer og tilsyn, tilfalder fagentreprenør) EJ**  
Stort set alle materialebestillinger blev håndteret digitalt. Dette gav bedre mulighed for optimering af processer i forb.m. udførelsen, eksempelvis materialeafkald. EJ vurderer en samlet ressourcebesparelse på 20-25 % på forbrug af materialer, tilsyn og afklaringsmøder.
- Produktionsforberedelse: **Hurtigere indblik i og forståelse for byggeprojektet og dets knudepunkter (B-C, tilfalder fagentreprenører) PH**  
Adgangen til bygningsmodellen via en viewer gav nogle gevinster udtrykt i reduktion af tid til granskning af projektmaterialet. I planlægnings- og produktionsforberedelsesfasen blev det vurderet til niveau B. I udførelsesfasen blev denne gevinst vurderet til niveau C.

#### Potentielle gevinster

- Udbud/tilbud: **Større datasikkerhed ved tilbudsregning med anvendelse af BIM (tilfalder entreprenørerne)**  
Digitalt udbud, hvor tilbudsgivere selv kan håndtere bygningsmodellens data ved direkte overførsel til beregningprogram eller via styklistegenerering til regneark.
- Udbud/tilbud: **Reduktion i tid til tilbudsregning gennem anvendelse af BIM (tilfalder alle fagentreprenører med højt IKT-niveau)**  
Samme gevinstpotentiale som realiseret af ventilationsentreprenøren for andre fagentreprenører.
- Udbud/tilbud: **Bedre og hurtigere evaluering af tilbud via bygningsmodellen (tilfalder bygherre og rådgiver)**  
Samme gevinstpotentiale ved sammenligning af entreprisetilbud til udførelse som ved rengøringsentreprisen i driftsfasen.
- Produktionsforberedelse: **Større bygbarhed ved at inddrage fagentreprenører tidligere i projekteringsprocessen (tilfalder entreprenører og bygherre)**  
Fremmer bygbarhed, logistik, materiale- og materielbestilling. Reducerer økonomiske omkostninger ved processtop på byggepladsen.
- Produktionsforberedelse: **Rationel elføring i betonelementer (besparelse på ca. 1 mio.kr.i RHO kontekst, tilfalder entreprenør og bygherre) PH**  
PH fra Pihl&Søn vurderede ikke en signifikant gevinst i RHO projektet, da det ikke IKT-konceptet ikke blev implementeret modelbaseret i deres arbejdsmetode. PH mener imidlertid at man po-

tentielt kunne spare ca. 1 mio. kr. i et projekt af RHO's størrelse, hvis intentionen med udsparringer i betonelementerne til eksempelvis kabelbakker etc. blev gennemført konsekvent. Dette vil en modelrepræsentation kunne understøtte.

### IKT-risiko måling

- Udbud/tilbud: **Håndtering af digital bygningsmodel af fagentreprenører (vedrører alle eksterne parter)**  
En af de identificerede risici i udbuds-/tilbudsprocessen er at tilbudsgiver, specielt fagentreprenørerne, skal kunne håndtere en digital bygningsmodel. Dette forudsætter, at der haves adgang til software, der kan håndtere modeldata. Det gælder arealer, bygningsdele, opmåling etc.
- Produktionsforberedelse: **Eksterne parter kompetenceniveau (B, vedrører alle eksterne parter)**  
Deltagelse i RHO-projektet forudsætter, at alle aktører hos de involverede parter (også hos de udførende) har de nødvendige digitale metode- og værktøjsmæssige kompetencer. Dette betyder, at effekterne fra casens IKT-koncept er væsentlig afhængig af det reelle kompetenceniveau hos de konkrete medarbejdere hos casens eksterne parter.

### Proces 3: Udførelse på byggeplads

**Pihl&Søn:** RHO er blevet gennemført som et partnering projekt. Pihl&Søn indgik i partnerskabet og de deltog i projektrummet under projekteringen, men de indgik ikke i den digitale fagmodelopbygning. Dog har de undervejs og specielt i slutningen af projekteringsforløbet givet input til Rambølls projekteringsfolk på traditionel, dokumentbaseret vis. Det indebærer således ikke udveksling af modeldata. Rambøll har stået for den metodemæssige del af hovedprojekteringen, 3D arbejdsmetode.

Pihl&Søn har som partner fungeret som hovedentreprenør og har haft ansvaret for byggeentrepriserne vedrørende råhus, kloakering, el, og vvs. Ventilationsentreprisen var en fagentreprise varetaget af firmaet Airteam. Airteam var medprojekterende på detaljeniveau i samarbejde med Rambøll. I dette samarbejde indgik en modelbaseret arbejdsmetode med udveksling af modeldata. VVS fagentreprisen blev varetaget af Brøndum A/S.

I udførelsesfasen lagde Rambøll bygningsmodellen op på projektwebben. Her kunne Pihl&Søn og andre fagentreprenører hente BIM-modellen og viewe den ved brug af en gratis viewer hentet på Internettet. Dog har de primære informationsbærere været dokumenter i form af arbejdstegninger. Denne arbejdsmetode har, ifølge Pihl&Søn, fungeret godt, dog med visse undtagelser. De savnede af og til information (eksempelvis koteangivelse) på de produktionstegninger, Rambøll havde udarbejdet. Dette viser dilemmaet ved at arbejde dokumentbaseret, hvor kun en valgt delmængde af informationerne er repræsenteret på tegningen. Den relative simple IKT-anvendelse har på den anden side betydet, at alle Pihl&Søn's medarbejdere har været med og har kunnet bruge det.

IKT-anvendelsen for hovedentreprenøren har været anvendelse af projektweb samt adgang den vej til arbejdstegninger i digital form.

**Airteam:** Airteam har haft ansvaret for ventilationsentreprisen. De indgik i et samarbejde med Rambøll omkring den detaljerede projektering. De deltog således i udveksling af modeldata begge veje over pro-

jektweb. Forudsætningen for dette var en investering i et andet installations-modelleringsprogram, MagiCAD, og en mindre omskoling. Tidligere har de værktøjet CADvent. Reelt har overgangen til MagiCAD betydet, at der er blevet anvendt 30-40 % mere tid til detaljekonstruktionen end med CADvent. Brugen af MagiCAD har betydet at en række funktioner skulle foretages manuelt bl.a. etablering af styk-lister. CADvent havde været mere rationelt til styklistegenerering, da det er et produktspecifikt program. Styklistegenerering forventes at være realistisk med MagiCAD i næste version. Airteam vurderer, at det ikke var noget problem at anvende MagiCAD i projektet. Det giver ekstra kompetencer, som betragtes som en investering i fremtiden. De bruger allerede MagiCAD i nye byggesager. CADvent er nu implemen-teret i MagiCAD.

Udover MagiCAD blev NavisWorks anvendt som viewer til at granske bygningsmodellen.

En af omkostningsreduktionerne på byggepladsen var, at ventilationsinstallationerne blev sat op før gipsvæggene. Det betød, at arbejdet kunne sættes i gang ½ år tidligere. Montagen blev mere rationel, da der ikke skulle tages hensyn til etablerede gipsvægge. Airteam gav kompensation til tømrermesteren, da han så fik en mere kompleks entreprise. Denne procesændring er ikke en direkte konsekvens af BIM, men det blev vurderet af JJ, at BIM var en forudsætning for at gennemføre procesændringerne med et så positivt resultat.

**Brøndum A/S:** Brøndum stod for udførelsen af VVS, nærmere betegnet komfortkøling, brugsvand, varme og sanitet i RHO-projektet. De havde 14-24 vvs-montører på selve byggepladsen. Der var endvidere tilknyttet en række underentreprenører. EJ havde ansvaret for alt undtagen kælderen, som en anden tidligere ansat projektleder hos Brøndum havde ansvaret for.

Brøndum opstillede en kontorvogn, hvor der var internet adgang til byggeprojektets projektweb (ProjectWeb – Rambølls egen projektweb) og kunne printe i A3 format. I et traditionelt byggeprojekt går papirgangen ofte langsomt. En væsentlig forudsætning for effektiv anvendelse af byggeprojektets projektweb var at Rambøll (dvs. de projekterende) var gode til at holde projektwebben opdateret – hvilket ikke altid var tilfældet. I pressede situationer blev rettelser etc. sendt ved brug af mail. Udover dette havde Brøndum, som de andre fagentreprenører, en viewer til byggeprojektets bygningsmodel. Afleveringen af alt projektdokumentation blev håndteret via Rambyg. Rødrekkede tegninger blev håndteret digitalt ved løbende at indscanne udsnit af tegningen med påtegnede røde rettelser og maile dem til Rambøll. Endelig blev der anvendt bips 'Digital mangelliste' som værktøj.

#### Kilder:

De følgende beskrivelser af rationaliseringsgevinster bygger på interviews med: Bent Steen Andersen (BSA), projektleder RHO, Rambøll; Morten Alsdorf (MA), CAD-koordinator, Rambøll; Niels Trelde (NT), fagleder på 3D Design, Rambøll; Troels Hoff (TH), ansvarlig for stålkonstruktioner, Rambøll; Jens Juul (JJ), entrepriseleder på ventilation, Airteam; Peter Hansen (PH), entrepriseleder på el, Pihl&Søn; Esben Jacobsen (EJ), entrepriseleder på VVS, Brøndum; samt artikel '3D model til understøttelse af drift og vedligehold', Asger Lyngklip Jensen (ALJ), ansvarlig for rengøringsudbuddet, Rambøll.

#### Afledte effekter

- Produktion: ***Tidsbesparelse ved gennemførelse af fagentreprisen for ventilation (225.000 kr.), tilfalder fagentreprenør JJ***

Entreprisen startede i 2008 og sluttede 2010. Projektering og modelkoordinering tog ca. ½ år. Arbejdet på byggepladsen tog 2 år. Ekstra tid til bygningsmodellen under projektering og koordinering anslås af JJ til ca. 2 mdr. ekstra, men blev til fulde hentet hjem ved rationel montageproces og færre montagestop på byggepladsen. Den bedre planlægning (og det ekstra tidsforbrug) af byggeprojektet blev sagtens hentet hjem i sparet tid i selve udførelsen. JJ anslår

at de har sparet svarende til et ½ års arbejde. Det vil sige en samlet gevinst på 4 mdr. Omregnet i penge: 225.000 kr.

- Produktion: ***Fleksibilitet i arbejds gange delvist betinget af BIM (B, tilfalder fagentreprenør, byggeledelse, bygherre) JJ***

En af omkostningsreduktionerne på byggepladsen var, at ventilationsinstallationerne blev sat op før gipsvæggene. Det betød, at de kom i gang ½ år tidligere. Montagen blev mere rationel, da der ikke skulle tages hensyn til etablerede gipsvægge. Firmaet gav kompensation til tømrermesteren, da han blev påført en mere kompleks entreprise. Han satte dog topskinner op først. Kompensationen var nem at beregne, da den fremgik af tilbuddet. Denne procesændring er ikke en direkte konsekvens af BIM, men det blev vurderet af JJ, at 3D arbejds metoden var en forudsætning for procesændringerne gav et positivt resultat.

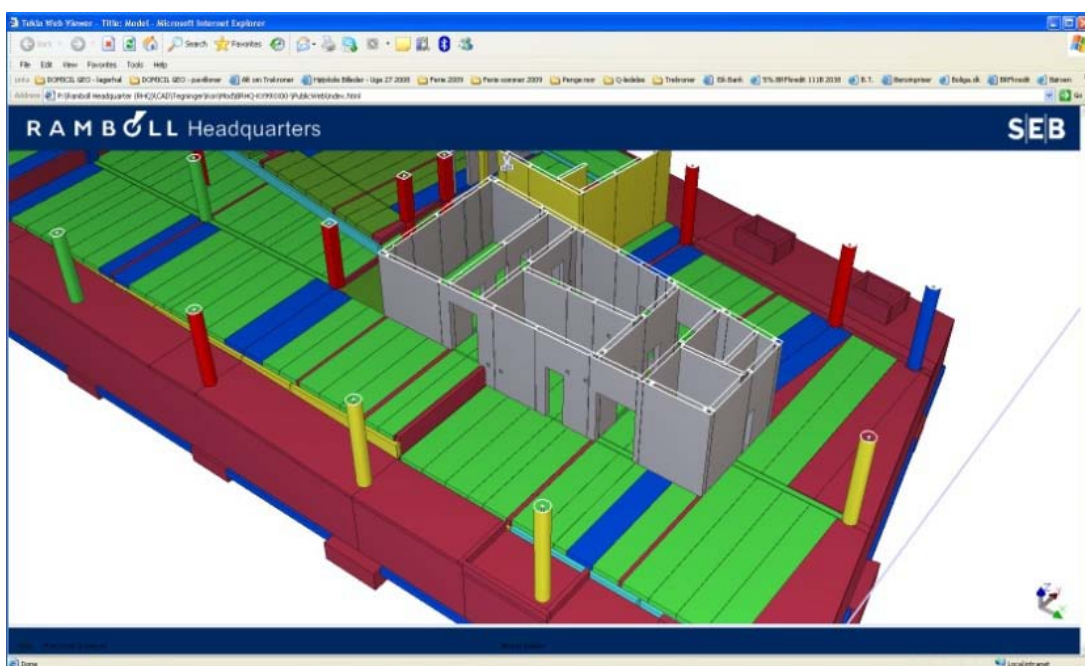


Fig. 8: Rumligt billede der viser anvendelsen af konstruktionsfagmodellen på byggepladsen til kontrol af montage for entreprenørerne.

- Produktion: ***Færre montagestop på byggepladsen gennem kollisionskontrol for ventilations-entreprisen(85-90 % reduktion af fejl gav tidsbesparelse svarende til ca. 77.500 kr.(konservativt sat)), Afledt gevinst – fagentreprenør+ (rådgivere)) JJ, Airteam***  
Få kollisioner og andre problemer og dermed få stop på byggepladsen. JJ vurderer, at der var en reduktion i antallet af stop på byggepladsen til 10-15 % i forhold til en traditionel, ikke digital, proces. Der var ca. et alvorligt stop om ugen. Montagestop skyldes overvejende projektændringer, ønsker fra bygherren, brandkrav – og ikke konsistensproblemer. Omfanget af besparelsen blev estimeret til samlet: 2 mand i en måned.
- Produktion: ***Færre processtop på byggepladsen grundet færre fejl i projektmaterialet for installationer (50 % tidsbesparelse grundet reduktion af fejl ved mindre kollisioner estimeret til 127.000 kr.(konservativt sat)), tilfalder fagentreprenør + (rådgivere)) PH, Pihl&Søn***  
Der blev konstateret et markant mindre omfang af kollisioner (hvor to forskellige fagdiscipliners bygningsdele kolliderer). Af mindre kollisioner var der en reduktion på 50 % i forhold til det normale, i alt ca. 100 kollisioner. En mindre kollision kræver ca. 4 timers arbejde af et varierende antal håndværkere. Af større kollisioner var der ingen i RHO casen, hvor der normalt i denne

størrelse projekt er ca. 5. En større kollision koster 2-3 mandedage plus materiale- og materielomkostninger. En vurdering fra installationsfolkene var at de fleste kollisioner, store som små, skyldes manglende konsistens og koordinering mellem fagmodellerne fra arkitekt og ingeniør.

- Produktion: **Færre processtop på byggepladsen grundet koordinering af fagområderne via bygningsmodel i projekteringsfasen (540.000 kr., tilfalder fagentreprenør) EJ, Brøndum**  
Reduktion i antallet af RFI. Meget stor fordel at fagområderne er koordineret ved hjælp af fællesmodeller. Traditionelt går der typisk 2 dage før der er en afklaring – i RHO blev det håndteret på få (2-4) timer. På en typisk dag kunne der let være 4-5 af den slags tekniske forespørgsler gennem en stor del af den 1½ år lange byggeperiode på vvs).
- Produktion: **Hurtigere indblik i og forståelse for byggeprojektet og dets knudepunkter (C, tilfalder fagentreprenører) PH, Pihl&Søn**  
Adgangen til bygningsmodellen via en viewer gav nogle gevinster udtrykt i reduktion af tid til granskning af projekt materialet. I planlægnings- og produktionsforberedelsesfasen blev det vurderet til niveau B. I udførelsesfasen blev denne gevinst vurderet til niveau C.

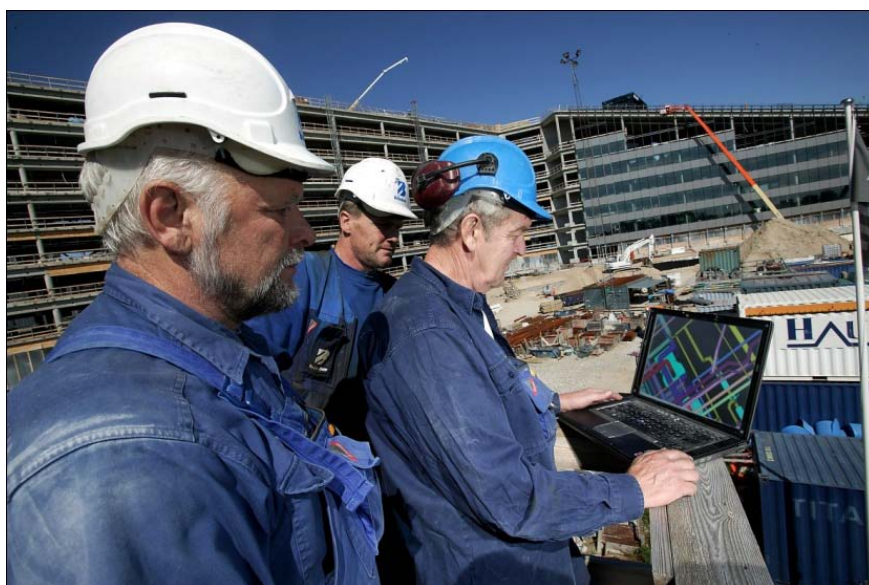


Fig. 9: Foto der viser anvendelsen af bygningsmodellerne på byggepladsen, hvor gratis viewere giver muligheder for at granske modellerne for at afklare tvivlspørgsmål for konstruktioner.

- Produktion: **Bedre overblik over projektinformationer gennem bygningsmodeller (B, tilfalder fagentreprenør) EJ Brøndum**  
Viewing af bygningsmodellen ved hjælp af vieweren kunne afklare 90 % af problemerne. Bedre og mere præcist overblik over byggeprojektet.
- Produktion: **Hurtigere svar på tekniske forespørgsler fra entreprenør til rådgiver (B, tilfalder fagentreprenør) PH, Pihl&Søn**  
Svar med løsninger på tekniske forespørgsler gik markant hurtigere end ved traditionelle arbejdsgange. Ved tidligere byggerier går der normalt en halv dag før svar, hvorimod ved RHO gik der normalt en halv time.
- Produktion: **Godt samarbejdsclima mellem parterne på byggepladsen (A, tilfalder fagentreprenør og rådgivere). JJ**



Specielt Airteam, men alle 3 fagentreprenører der var udvalgt til effektmåling i casen, udtrykte samstemmende stor tilfredshed med projektførelsen og samarbejdsklimaet. En medvirkende årsag tilskrives arbejdsmetoden, som indebærer færre projektfejl og dermed konflikter på byggepladsen, samt muligheden for at afklare tvivlsspørgsmål ved muligheden for granskning af modellen.

## Potentielle gevinster

- Produktion: **Udtræk af mængder (Indirekte effekter – fagentreprenør)**  
Undervejs i udførelsen har det endvidere været muligt at løbende at få udarbejdet/udtrukket specifikt tegningsmateriale eksempelvis mængdeudtræk etc. alt efter entreprenørens konkrete behov i byggeprojektet.
- Produktion: **Anvendelse af bygningsmodellen til projektstyring og logistik (Potentiel gevinst – entreprenøren)**  
IKT-konceptet åbner mulighed for gevinster for entreprenøren ved at anvende bygningsmodellen aktivt i produktionsprocesserne. Det gælder tidsstyringen af produktionen (4D) og økonomistyringen (5D). Afledte processer, hvor bygningsmodellen kan være et værktøj, er indretning af byggeplads, placering af depoter og materiel, forbrug og indkøb af materialer løbende og udarbejdelse af 'mangellister'.

## IKT-risiko måling

- Projektering: **Tekniske fejl i softwaren. Tekla - generering af tegninger (B, Direkte – stål)**  
For stålkonstruktionen, som anvendte værktøjet Tekla, blev der under projekteringsforløbet identificeret et problem med generering af produktionstegninger af stålkonstruktionen. Tekla gik dog ind og rettede programfejlen ret hurtigt efter de blev gjort opmærksom på problemet.
- Produktion: **For stor afstand mellem parternes IKT-niveau.** Specielt i forholdet mellem rådgiverne og fagentreprenørerne. Potentialer vil ikke blive udnyttet, hvis parter ikke har kompetencer til at arbejde modelbaseret. En overgangsløsning er at projektere modelbaseret og kommunikere dokumentbaseret, som det er gjort i casen.
- Produktion: **Mangel på hardware og netforbindelse til at modtage digitale informationer på byggepladsen.** Etablering af digital skurvogn, håndholdte devices eller anden teknologi skal være til stede og skal kunne anvendes af håndværkerne. Kræver instruktioner.

## Hovedproces 4: Drift af bygningen

Drift og vedligehold af RHO varetages internt af Rambøll gennem egen driftsafdeling. En række delfunktioner bliver outsourcet til anden part.

Det var tidligt i projektførelsen besluttet at gennemføre udbud på rengøringsentreprisen. Et traditionelt udbud var vanskeligt at gennemføre, da bygningen var under opførelse og dermed ikke færdigspecificeret. Det blev derfor besluttet at gennemføre et digitalt udbud byggende på den digitale bygningsmodel. Det første scenarie gik på, at de enkelte rengøringsleverandører som blev indbudt til at byde på opgaven, fik udleveret en bygningsmodel, som de direkte kunne arbejde med. Dette scenarie blev fravalgt, da IKT-værktøjerne ikke var tilstrækkeligt udviklet og på grund af manglende kompetencer hos rengøringsleverandørerne. Et andet scenarie, og det der blev gennemført, byggede på en mere styret proces fra ho-



vedrådgiver. Det bygger grundlæggende på at inddrage rengøringsleverandørens viden og erfaringer for en optimering af entreprisen byggende på rådgivers digitale bygningsmodel. Rådgiver leverer data og opstiller udfaldskravene vedr. rengøringen (funktions- og frekvensbestemte) og leverandøren beskriver hvordan han funktionelt opfylder kravene.

Et af problemerne i løsningen var, at der ikke var etableret en bygningsmodel, der var skræddersyet til driften (en drift-fagmodel). Projektets fagmodeller var dedikeret til projekteringsfasens fagdiscipliner, og altså ikke specielt drift. Et andet problem var omkring opmålingen. Eksempelvis var rum-objekternes typebetegnelser ikke målrettet driften (åbne kontor og fællesarealer i arkitekt-fagmodellen vil blive typiseret som gangarealer i forhold til drift).

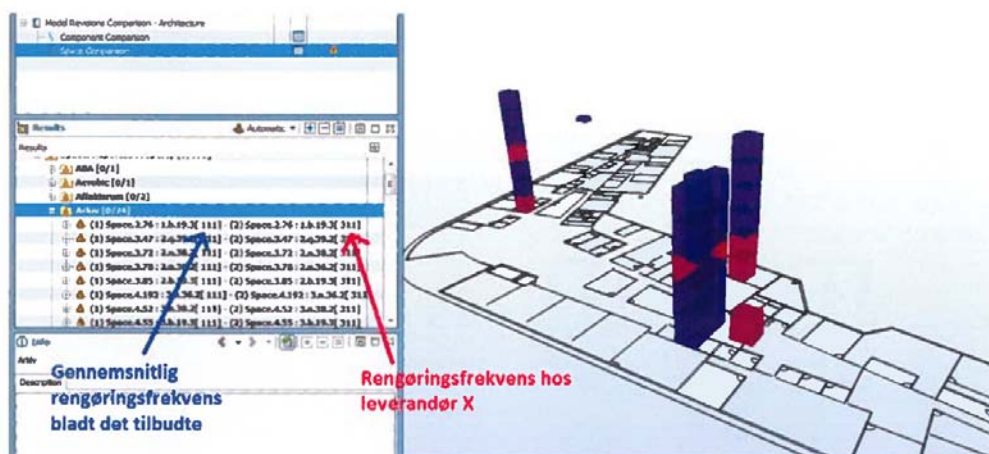


Fig. 10: Figuren viser et eksempel på evaluering af entreprisetilbud. Sammenligning af gennemsnitlig rengøringsfrekvens mellem firmatilbud. Vist i Excel regneark og i modelviewer. (kilde: Rambøll internt nyhedsbrev 2010)

Den endelige løsning blev et hybridt koncept, hvor man både benyttede den digitale bygningsmodel, informationsniveau 4, suppleret med dokumenter, i form af traditionelle tegninger, beskrivelser og lister (rumtyper, arealer m.m.). Bygningsmodellen blev stillet til rådighed for leverandøren og blev suppleret med en gratis viewer. Rumtyper og arealer er udtræk fra bygningsmodellen til regneark og disse regneark er det bærende værktøj for optimeringen. Leverandøren leverer sine data (rengøringsfrekvenser m.m.) i regnearket. Disse data bliver via regnearket overført til bygningsmodellen, hvor man gennem farvekoder på rengøringsfrekvenser o.l. får et overblik over de bydendes tilbud, som oversættes til en kvalitetsprofil. Denne kvalitetsprofil er så udgangspunktet for en optimeringsproces mellem drift og leverandør. Rengøringsleverandøren kan gennem vieweren analysere bygningsmodellen (relationer mellem rum, placering af rengøringsmateriel etc.) og dermed optimere logistikken i forbindelse med rengøring, vinduespolering m.m.

Udover at anvende konceptet i udbud og tilbudsgivningen blev konceptet også anvendt til evalueringen af de indkomne tilbud (8 i casen). De 8 tilbud blev indlæst i bygningsmodellen og der blev genereret et for de 8 tilbud gennemsnitligt rengøringsniveau. Ved efterfølgende at indlæse de specifikke tilbud kunne man direkte aflæse afvigelserne fra gennemsnittet og således kvantificere forskellene i tilbuddene. Her ved indgik bygningsmodellen i optimering i evalueringsprocessen.

#### Kilder:

De følgende beskrivelser af rationaliseringsgevinster bygger på interviews med: Bent Steen Andersen (BSA), projektleder RHO, Rambøll; Morten Alsdorf (MA), CAD-koordinator, Rambøll; Niels Trelldal (NT; samt artikel '3D model til understøttelse af drift og vedligehold', Asger Lyngklip Jensen (ALJ), ansvarlig for rengøringsudbuddet, Rambøll.

### Afledte effekter

- Drift og vedligehold: **Tidsbesparelse ved udarbejdelse af udbudsgrundlag for rengøringsentreprisen med anvendelse af digital bygningsmodel (10-20 %, tilfalder hovedrådgiver, driftsherre) NT**  
Produktivitetsgevinsten blev opnået ved, at der kunne trækkes styklister med arealer og mængder ud af bygningsmodellen til regneark, der indgik i udbudslisterne. Yderligere indgik den digitale bygningsmodel i udbudsmaterialet.
- Drift og vedligehold: **Tidsbesparelse ved udarbejdelse af tilbud til rengøringsentreprise (20-30 % af totalomkostning, Direkte gevinst – rengøringsentreprenører) NT**  
I udbuddet blev leveret lister med præcise opgørelser over arealer og antal og typer af bygningsdele. Tilbudsgiverne kunne således spare en traditionel – manuel – opmåling. Yderligere støttede viewing af bygningsmodellen sikkerheden i tilbudsgivningen samt sparet tid ved granskning i modellen i stedet for fysisk opsøgning.
- Drift og vedligehold: **Tidsbesparelse ved udvælgelsesprocessen vedr. driftsentreprise støttet af BIM (50 % af evalueringsprocessen, Afledt gevinst – Driftsherren) ALJ, Rambøll + NT**  
Rambøll's funktion som rådgiver og driftsherre blev udnyttet i forbindelse med evalueringen af de indkomne tilbud fra rengøringsvirksomhederne. Tilbuddene i digital form blev sammenlignet ved indlæsning og behandling i den eksisterende digitale bygningsmodel.
- Drift/aflevering: **Ressourcebesparelse ved digital aflevering af 'as built' dokumentation fra fagentreprenør via projektweb (100 % i print og distribution, Afledt gevinst – fagentreprenører) EJ Brøndum**  
Aflevering af D&V blev foretaget digitalt ved hjælp af uploading med projektwebværktøjet Rambyg, hvor der i et traditionelt byggeprojekt skulle afleveres 4-5 eksemplarer af alt D&V-materiale udprintet. Brugen af Rambyg gjorde, at dette arbejde blev sparet væk (printing og distribution).

### Potentielle gevinster

- Drift og vedligehold: **Inddrage drift og vedligehold i tidlig designfase**, for at understøtte driftsmæssig design. Er under overvejelse til fremtidige projekter hos Rambøll. NT
- Drift og vedligehold: **Anvende bygningsmodellen i hele driftsfasen og til samtlige FM funktioner**. Tilknytte data som rengøringsplaner, sikkerhedsrunderinger og brand/evakueringsplaner til bygningsmodellen. NT
- Drift og vedligehold: **Anvende bygningsmodellen til kommunikation mellem brugerne og driften**. Rambøll ønsker at bruge en bygningmodel til at medarbejdere kan lave fejlregistrering direkte i modellen, så registrerede problemer linkes til et specifikt område og nemt kan identificeres. Det gælder områder som fejlmelding, lokalebooking med services, bestilling af kontorudstyr. Er under overvejelse hos Rambøll. ALJ

### IKT-risiko måling

- Drift og vedligehold: **Planlægnings- og driftsværktøjer**, som rengøringsleverandører anvender i dag, **understøtter ikke BIM og IFC**. Det gælder værktøjer til driften, til forvaltningen og til booking og fejlmelding.

- Drift og vedligehold: **Driftskrav til bygningsmodellen.** Den skal optimalt være skræddersyet til driften, dvs. en D&V-fagmodel på informationsniveau 6 eller et udtræk til en simplere model til simulering af D&V. Som minimum skal den være velstruktureret, således at det er relativt simpelt at opgradere en fagmodel med driftsdata.
- Drift og vedligehold: **Opdateret bygningsmodel.** Der må ligge en fast procedure for opdatering af data med relation til drift og vedligehold i hele driftsfasen. Dette kræver en kompetent driftsherre, der har en høj IKT-kompetence og som afsætter ressourcer til løbende at opdatere bygningsmodellen.
- Drift og vedligehold: **Standardiserede, danske opmålingsregler,** der kan anvendes i en BIM sammenhæng. Der er pt. ingen fælles standard og følgelig er den ikke implementeret i softwaren. Udregning af arealer er kontekstafhængig af softwaren. Videntcentret cuneco arbejder på en sådan standardisering.
- Drift og vedligehold: **Et fælles byggeklassifikationssystem.** Klassifikation er et værktøj til at specificere og binde informationer sammen mellem bygningsmodellen og processerne. Et fravær af et dansk klassifikationssystem betyder at man må anvende et andet nationalt system, som er mindre velegnet og ikke fælles, eller finde andre, ikke standardiserede, metoder til dens funktion. Videntcentret cuneco arbejder på en afløser for Dansk ByggeKlassifikation. CCS afprøves i 2012.
- Drift og vedligehold: **Nødvendighed af et højt IKT-niveau** hos driftsherren for at kunne anvende en digital bygningsmodel til drift og forvaltning. Relativt højt IKT-niveau hos driftsrepræsentanter for at kunne give tilbud via bygningsmodellen og/eller digitale styklister samt for at kunne anvende bygningsmodellen under driftsrepræsentationerne. Kompetenceniveau hos driftsrepræsentanter er generelt for lavt.

## Opsummeringen af effektmålingen

I det følgende opsummeres resultaterne af casens effektmåling.

Opsummeringen er foretaget med udgangspunkt i følgende præmisser:

- Der er kun medtaget de gevinster og omkostninger, der er erkendt af casens aktører. Det være sig gevinster målt i kroner eller %'er og gevinster målt i forhold til gevinstniveau. Der er andre effekter i casen, der ikke er erkendt og realiseret af de deltagende aktører.
- Der er kun medtaget de effekter, der stammer fra det udsnit af parter og i de delprocesser, der er udvalgt i et samarbejde mellem ØG-DDB projektgruppen og de aktører, der repræsenterer casen. Der kan således ikke udregnes samlede gevinster for casen, men kun repræsentative gevinster på delprocesser.
- De gevinster, der angives i procent, er overvejende %-angivelser af de delprocesser, hvor gevinsten er målt. Disse procenter angives i *kursiv*. Procenter angivet med normal tekstfont er procenter af hele enterprisesummen.

- Opsummeringen er overordnet opdelt i de forskellige hovedprocesser og fordelt på de i målin-  
gerne indgående projektparter. I tabellerne kan man direkte aflæse gevinster og omkostninger  
på virksomhedsniveau.
- Potentielle gevinster er ikke medtaget her, da de per definition ikke optræder i casen.

### Virksomhedsniveau: Gevinster og omkostninger fordelt på de enkelte parter

Hovedproces 1: Projektledelse og projektering med brug af fag- og fællesmodeller											
Delprocesser	Gevinst- type		Hovedrådgiver	Fagrådgivere	Fagentrepreneur	Bvgherre	Driftsherre	Brugere		Gevinst målt i kr. eller procen- ter	Ge- vinst- niveau for ikke finan- sielle effek- ter
Hovedrådgiver:											
Bedre kommunikation med samarbejds- parter	Direkte										A
Mindre behov for fysisk kommunikation	Direkte										C
Mere konsistent projektmateriale, reduktion af fejl, eksempel: dørentreprise	Direkte									350.000	
Hurtig ændring og opdatering af projektmat.	Direkte										B
Automation ved generering af ståltegninger	Direkte									40.000	
Hurtig afvikling af projekteringsteamet	Direkte									3.767.500	
Medarbejderinvolvering	Indirekte										A
Bedre motivation	Indirekte										C
Bedre procesforståelse gennem BIM	Indirekte										A
Aflevering til tiden, delvis BIM	Indirekte										A
Bedre indeklima grundet simulering af bygningsfysiske egenskaber	Afledte										A
Mulighed for større kompleksitet i bygningsdesign	Afledte										B
Målte gevinster total										4.157.500	Højt
Omkostninger											
Årlige afskrivninger										50.000	
Driftsomkostninger										189.000	
Målte omkostninger										239.000	
Netto resultat	Direkte									3.918.50	

			0	
--	--	--	---	--

Hovedproces 2: Udbud/tilbud og produktionsforberedelse									
Delprocesser	Gevinst- type	Hovedrådgiver	Fagrådgivere	Fagentreprenører	Bygherre	Driftsherre	Brugere	Gevinst målt i kr. eller procenter	Gevinst- niveau for ikke finansielle effekter
<b>Hovedrådgiver:</b>									
Tidsreduktion ved bedre koordinering mellem fagmodeller	Direkte								B
Tidsreduktion ved informationsoverførsel til stålleverandør	Indirekte							15%	
<b>Fagentreprenør, Ventilation (entreprisenum: 36 mio. kr.)</b>									
Reduktion i tilbud til supplerende arbejde	Afledte								IM
Tidsreduktion ved koordinering af fag	Afledte							3.240.00 060%	
<b>Fagentreprenør, VVS</b>									
Reduktion i tid og spild ved digital materialebestilling	Afledte							20-25 %	
<b>Fagentreprenør, El</b>									
Hurtigere overblik over projektet									B/C
<b>Målte gevinster total</b>								3.240.00 0 15-25 %	Højt
<b>Omkostninger</b>									
Hovedrådgiver		Registreret under hovedproces 1						-	
Fagentreprenør, Ventilation								133.333	
Fagentreprenør, VVS								0	
Fagentreprenør, El								0	
<b>Målte omkostninger ialt</b>								133.333	
<b>Netto resultat</b>	Afledte							3.376.66 7	

Hovedproces 3: Udførelse på byggeplads									
Delprocesser	Gevinst- type	Hovedrådgiver	Fagrådgivere	Fagentreprenører	Bygherre	Driftsherre	Brugere	Gevinst målt i kr. eller procenter	Gevinst- niveau for ikke finansielle effekter

Hovedrådgiver:									
Fagentreprenør, Ventilation (entreprisenum: 36 mio. kr.)									
Tidsbesparelse ved gennemførelse af fagentreprise	Afledte							225.000	
Fleksibilitet i arbejdsgangen	Afledte								B
Færre montagestop på byggepladsen	Afledte							85-90 % 77.500	
Godt samarbejdsklima	Afledte								A
Fagentreprenør, VVS									
Færre processtop grundet koordinering	Afledte							540.500	
Bedre overblik over projektfaktaer	Afledte								B
Fagentreprenør, råhus, el									
Færre processtop grundet færre fejl	Afledte							127.000	
Hurtigere overblik over projektet	Afledte								C
Hurtigere tilbagemelding fra rådgiver	Afledte								B
<b>Målte gevinster total</b>								<b>970.000</b>	
Omkostninger									
Hovedrådgiver							Registreret under hovedproces 1		
Fagentreprenør, Ventilation								0	
Fagentreprenør, VVS								0	
Fagentreprenør, El								0	
<b>Målte omkostninger i alt</b>									
<b>Netto resultat</b>	<b>Afledte</b>							<b>970.000</b>	

Hovedproces 4: Drift af bygningen									
Delprocesser	Gevinsttype	Hovedrådgiver	Fagrådgivere	Fagentreprenører	Bygherre	Driftsherre	Brugere	Gevinst målt i kr. eller procenter	Gevinstniveau for ikke finansielle effekter
Hovedrådgiver/driftsherre:									
Tidsbesparelse ved udarbejdelse af udbudsgrundlag, rengøring	Direkte							10-20 %	
Tidsbesparelse ved evaluering af tilbudene	Direkte							50 %	
Fagentreprenør, Rengøring									
Tidsbesparelse ved udarbejdelse af tilbud	Afledte							20-30 %	
Fagentreprenør, Rengøring									
-	Afledte							-	
Fagentreprenør, VVS									
Ressourcebesparelse ved digital aflevering	Afledte							100 %	
Fagentreprenør, El									



-										-	
<b>Målte gevinster i alt</b>	<b>varier.</b>									<b>Varier. fra 10-100 %</b>	
<b>Omkostninger</b>											
Hovedrådgiver								Registreret under hovedproces 1		0	
Fagentreprenør, Ventilation										-	
Fagentreprenør, VVS										0	
Fagentreprenør, El										-	
<b>Målte omkostninger i alt</b>										0	
<b>Netto resultat</b>	<b>Afledte</b>									<b>Varier. fra 10-100 %</b>	

Tabel 1: IKT-konceptets målte gevinster og omkostninger opgjort på projektniveau.

Samlet resultat for hovedrådgiver for finansielle gevinster										
Delprocesser	Gevinst- type	Hovedrådgiver	Fagrådgivere	Fagentreprenører	Bygherre	Driftsherre	Brugere		Gevinst målt i kr.	Gevinst- niveau for ikke finan- sielle effekter
Hovedrådgiver (samlet rådgiverhonorar: 100 mio. kr.)										
Hovedproces 1 Projekteringsledelse og projektering	Direkte								4.157.500	Højt
Hovedproces 2 Udbud/tilbud og produktionsforberedelse	Direkte								-	Højt
Hovedproces 3 Udførelse på byggeplads	Direkte								-	-
Hovedproces 4 Drift af bygningen	Direkte								-	Højt
Målte gevinster for hovedrådgiver total	Direkte								4.157.500	Højt
Omkostninger										
Hovedrådgivers omkostninger for IKT- koncept									239.000	
Samlet nettoresultat for driftsherren									3.918.500	

Tabel 2: IKT-konceptets målte gevinster og omkostninger opgjort på virksomhedsniveau for hovedrådgiver.

### Beskrivelse til gevinster og omkostninger

IKT-konceptets hovedaktiviteter ligger i hovedproces 1, hvor en større rådgiver har implementeret en BIM baseret arbejds metode som den grundlæggende styring af sine rådgiverfunktioner: Projektering

gennem modelopbygning af fagmodeller indeholdende byggeobjekternes informationer, koordinering af projekthinformationer mellem de forskellige typer af rådgivere gennem konsistenssoftware, beregning af bygningsfysiske egenskaber ved bygningsmodellen gennem simuleringer via modelbaserede analyseprogrammer samt generering af tegninger og styklister.

Rådgiveren har haft en meromkostning i forb.m. opbygningen af bygningsmodellen i form af et antal softwarelicenser og implementeringsudgifter i størrelsesordenen ¼ mio. kr.

Udbyttet har ligget i en større grad af koordinering mellem fagmodellerne og dermed et bedre kvalitets-sikret projektmateriale med færre fejl. Det kvalitetssikrede projektmateriale har efterfølgende, i hovedproces 3, udførelse på byggepladsen, giver gevinster på to hovedområder: 1) Direkte: Hurtigere afvikling af rådgiverteamet på byggepladsen, da behovet for hurtig indgriben ved fejl eller mangler i projektmaterialet var mindre, gevinst værdisat til 3,8 mio. kr. – og 2) Afløste: Færre proces- og montagestop på byggepladsen. De gevinster der knytter sig til dette område er tilfaldet fagentreprenørerne på byggepladsen, hvor alle fagentreprenører kan registrere en reduktion i tidsforbrug, og hvor ventilationsentreprenøren, der mest konsekvent har anvendt en 3D arbejds metode, har registreret den største reduktion i spildtid ved et fald i fejl på mellem 85 og 90 %.

IKT-konceptet har nogle store effekter i udførelsesfasen, som afløste gevinster for rådgiveren og som direkte gevinster for fagentreprenørerne. Bedre koordinering mellem fagene, bedre tidsstyring mellem de enkelte entrepriser, hurtigere afslutning af entrepriser og færre processtop. Denne sidste gevinst er en af de væsentligste rationaliseringsgevinster, der er målt, og den er overvejende forårsaget af IKT-konceptet, den 3D baserede arbejds metode. Den er registreret af alle de undersøgte fagentreprenører med et varierende mål for effekten, men for alle har den været betydelig. De målte værdier kan aflæses i hovedproces 3 opstillingen. Ventilationsentreprenøren var aktiv i projekteringen sammen med rådgiver og gennemførte specielle kollisionstest af ventilation mod råhus. Forudsætningen for dette var en investering i modellerings-software samt opgradering af medarbejderkompetencer på i alt ca. 400.000 kr. Til gengæld er det også hos denne entreprenør de største gevinster er registreret. På færdiggørelsen af entreprisen er der målt en tidsbesparelse på 15-20 % og på antallet af processtop en tilsvarende reduktion på 15-20 % af det normale niveau. For denne fagentreprenør er der identificeret en samlet besparelsen på produktionsforberedelse og udførelse på ca. 3,5 mio. kr.

Rådgiveren har registreret en produktivitetsgevinst i fremstilling af tegningsmaterialet fra den koordinerede model. ØG-DDB projektet har undersøgt én af fagdisciplinerne hos rådgiveren: stålkonstruktionen, og her har der i hovedproces 1 været en besparelse på generering af det traditionelle tegningsmateriale til udbuddet på 40.000 kr. Efterfølgende er der i hovedproces 2, udbud/tilbud og produktionsforberedelse, udleveret et i omfang meget mindre tegningsmateriale, da de traditionelle tegninger kan erstattes af modelrepræsentation til numerisk styrede maskiner. Gevinsten er konstateret, men det har ikke været muligt at værdisætte den.

**På virksomhedsniveau** har rådgiveren for en relativ beskedne meromkostning opnået en bedre kvalitet af projektmaterialet, mere detaljerede simuleringer som giver en bygning med gode bygningsfysiske egenskaber på energi og indeklima, besparelser på tegningsfremstillingen, tidsmæssige besparelser på koordineringen mellem fagdisciplinerne og en væsentlig reduktion i fejl og mangler i projektmaterialet. Dette sidste har betydet, at afviklingen af rådgiverteamet på byggepladsen har foregået meget hurtigere end normalt. Her ligger den største direkte gevinst, der er registreret.

På **projektniveau** ligger de største gevinster hos fagentreprenørerne, både de registrerede og de potentielle. For rådgiveren er det afledte gevinster, som virksomheden dog kan have en mulighed for at få del i gennem partneringskontrakten. I udbud/tilbuds forretningen indgik BIM arbejdsmetoden ikke, grundet samarbejdsrelationerne, hvorfor der ikke blev registreret billigere tilbud på grund af IKT-konceptet. I det omfang fagentreprenørerne forstod at anvende den ressource, der var stillet til rådighed i form af en digital bygningsmodel, ville de kunne høste gevinster her.

## Barrierer og forudsætninger for implementering

### Diskussion af teknologien

Ved vurdering af BIM baserede værktøje, er det vigtigt at gøre sig klart, at de repræsenterer en teknologi, som er under udvikling. Programmerne er ikke optimerede til totalløsninger af de opgaver, brugeren skal løse. Værktøjerne indgår i en dynamisk udviklingsproces, hvor brugeren anvender programmer i det omfang de kan løse opgaver mere rationelt. Det betyder på den ene side, at de indgår i et projektforsløb sideløbende med andre, dokumentbaserede rutiner i virksomhederne, og på den anden side at de ikke funktionelt altid fuldt støtter en aktuell delproces og afledte processer. Udfordringen for en virksomhed er at specificere et IKT-koncept, som kan drage optimal nytte af funktionaliteten i teknologien. Dvs. lægge et ambitionsniveau for sine arbejdsmetoder, der kan nyttiggøre teknologien og som man kan mestre kompetencemæssigt.

I denne case anvendte den rådgivende ingeniør modelleringsværktøjer for konstruktion, Tekla Struktur, og for installationer, MagiCAD. De har været teknologisk tilstrækkelige til at gennemføre IKT-konceptet. Specielt har man gennem anvendelsen af Tekla kunne projektere på et højt detaljeringsniveau, således at arbejdstegninger er produceret med en mindre grad af efterbehandling. Med hensyn til stålkonstruktionen er der produceret produktionstegninger fra modellen til direkte anvendelse af stålentreprenøren og stålleverandør. Stålentreprenøren fik samtidigt fagmodellen, der blev anvendt til egenproduktionen via numerisk styrede maskiner. Der blev under projekteringen konstateret fejl i værktøjet Tekla, der medførte at produktionstegningerne ikke blev udført korrekt. Softwarevirksomheden bag Tekla rettede på opfordring værktøjet, hvorefter problemet var løst.

Betonkonstruktionen blev projekteret på lignende måde med automatisk generering af elementtegninger til armering og detaljetegninger.

Installationerne blev projekteret med værktøjet MagiCAD. Rådgiveren arbejdede med MagiCAD på de overordnede niveauer, model-design med hovedrørføringer og diagram-designet blev gennemført med Visio (kun indirekte forbindelse til BIM). Den detaljerede design blev gennemført af fagentreprenørerne. Kun ventilationsentreprenøren gennemførte denne funktion BIM baseret, med anvendelse af samme software, MagiCAD.

Koordineringen mellem rådgiverne blev gennemført via IFC med programmet Solibri MC. Fællesmodeller blev anvendt til kollisionskontrol. Programmet fungerede tilfredsstillende. Koordinering mellem fagentrepriserne blev kun gennemført visuelt ved hjælp af modelviewer-program NavisWorks, som fungerede tilfredsstillende.

Simuleringer blev gennemført af ingeniørrådgiver. Det var her kun muligt at overføre dele af bygningsmodellen til CFD simulering. Programmet blev anvendt til detaljerede beregninger af træk omkring atrium'et, da dette var en stor udfordring i designet. De detaljerede beregninger var ressourcekrævende, men havde stor indflydelse på det endelige bygningsdesign.

Projektweb fungerer teknisk tilfredsstillende for konceptet, og funktionaliteten er fuldt udnyttet i projekteringsfasen.

### **Diskussion af kompetencer**

IKT-konceptet stiller relativt store krav til kompetencer på områderne: 3D arbejdsmetode, modellering i BIM-værktøj, tegningsopsætning, styklistegenerering, erfaring med udveksling af modeldata, kendskab og konfiguration af simuleringsværktøj m.v.

Kompetencerne er for hovedrådgiveren erhvervet i forbindelse med tidligere projekter i virksomheden, hvor IKT-konceptet har været i spil. En forklaring på, at IKT-konceptet blev gennemført med udtalt tilfredshed hos de deltagende medarbejdere, er at det bygger på de erfaringer, der er erhvervet i virksomheden i perioden fra før 2007 (bygherrekravenes lancering) til i dag. Projektlederen havde ikke noget forudgående kendskab til BIM, men overlod implementeringen af BIM metoder og teknologier til engagerede medarbejdere, der havde demonstreret grundlæggende kompetencer indenfor BIM.

Medarbejderne, der var involveret i projektet, er betegnet som yngre ingeniører (og arkitekter), bygningskonstruktører og opkvalificerede assistenter. Opkvalificering er overvejende foregået i praksis i forbindelse med konkrete projekter, hvor CAD og BIM har været repræsenteret.

For fagentreprenørerne gjaldt det, at de fleste ikke anvendte BIM teknologi, og derfor ikke var afhængige af BIM kompetence. Kompetence til at anvende en modelviewer til at granske modellen kan erhverves på kort tid.

Projektweb er efterhånden så indarbejdet, at der ikke har været kompetenceproblemer hos parterne.

### **Diskussion af samarbejdsrelationer og projektintegration**

Projektet blev gennemført som et Partnering projekt mellem Rambøll, Dissing+Weitling og Pihl&Søn. Samarbejdsrelationerne i et partnering selskab vil alt andet lige styrke samarbejde og integration i et projekt. Da BIM bygger på integration af delprocesser i et projektforsløb, er partnering en måde at organisere et samarbejde på, der direkte understøtter den faglige integration, der er en vital del af et BIM samarbejde og altså også understøtter IKT-konceptet i denne case.

En partneringmodel betyder også, at de vigtige samarbejdspartner er valgt på forhånd og ikke bliver udpeget gennem et almindeligt udbud. Dette vil kunne sikre, at man kan vælge partnere, der ligger på et passende kompetence og IKT-niveau. Dette var ikke tilfældet i casen, hvor ingeniørrådgiveren ligger noget højere end de andre parter. Dette har stor betydning for forløbet af byggeprojektet. Et højere IKT-niveau hos visse af entreprenørerne ville have kunne demonstrere rationaliseringsgevinster på et højere niveau end registreret i casen.

### **Diskussion af lovgivning/ydelsesbeskrivelser/honorarer**

Arbejdsdelingen - og dermed honorarfordelingen mellem byggeriets parter - har i en meget lang periode været reguleret af et system af ydelsesbeskrivelser, som er bredt accepteret i branchen, og som i et vist omfang også afspejles i love og bestemmelser. Liberaliseringen af byggemarkedet op gennem 90'erne - bl.a. understøttet af EU's konkurrencebestemmelser - har i et vist omfang ændret på disse forhold - men branchen er stadig i høj grad præget af accept af de gamle ydelsesbeskrivelser og honorarregler.

En integreret, modelbaseret arbejdsproces kombineret med tidssvarende samarbejdsrelationer flytter i høj grad rundt på den traditionelle arbejdsdeling og berører dermed den økonomiske fordeling. Forandringerne berører både indholdet og omfanget af arbejdsopgaverne, og ikke mindst arbejdsopgavernes placering i processen.

Mange undersøgelser viser, at den traditionelle fasemodel og de dertil knyttede ydelsesbeskrivelser ikke længere gælder, idet informationsrigdommen i modellen er/må være langt større på et tidligere tidspunkt i processen. I mange projekter har det medført, at man konkret har foretaget ændringer i honorarfordelingen i forhold til faserne, for at regulere for den ændrede arbejdsbelastning.

Branchens organisationer er netop i skrivende stund ved at lægge sidste hånd på en revision af ydelsesbeskrivelserne, så de håndterer de nye vilkår, og vil formentlig følge op med anbefalinger om ændringer af honorarfordelingen henover projektforløbet. Indtil der eksisterer en ny konsensus på disse områder, må alle projekter finde en konkret måde at adressere denne udfordring på. I RHO projektet er denne udfordring taget op ved at samarbejde efter en partnering model.

## Konklusion

Hovedkonklusionen for case02 er, at det er rationelt at gennemføre en projektering af et større nybyggeri med anvendelse af en 3D baseret arbejdsmetode og med en række tilknyttede BIM baserede værktøjer. Det IKT-koncept, som casen omhandler, er et foreløbigt slutprodukt af en udviklingsproces, der er foregået internt i Rambøll over årene. Casen repræsenterer et IKT niveau, som ligger på et tilstrækkeligt højt plan til, at det har kunnet give rationaliseringsgevinster i en række væsentlige processer i projektforløbet, samtidigt med at det har kunnet effektueres af et antal medarbejdere med et tilstrækkeligt kompetenceniveau. Udfordringen for en virksomhed ligger i, metodemæssigt og teknologisk, at definere et ambitionsniveau for BIM, der matcher gevinstpotentialer og medarbejderkompetencer samt de ydre krav der stilles til det specifikke projekt. Ydermere skal BIM implementeringen sameksistere med andre, traditionelle og mere dokumentbaserede rutiner og forretningsgange, som vil være for omkostnings- og kompetencetunge at ændre, og/eller hvor der måske ikke findes ækvivalenter, der er BIM baserede.

Casen repræsenterer et koncept, hvor digitale bygningsmodeller anvendes til 3 hovedfunktioner:

- 1) at koordinere de faglige designbeslutninger blandt rådgiverne og sammen med de udførende,
- 2) at minimere antallet af fejl og informationsmangler i projektmaterialer og
- 3) at kunne udføre detaljerede simuleringer af bygningsfysiske egenskaber.

Hertil kommer der en række afledte funktioner, hvor IKT-konceptet har demonstreret gevinster.

Overordnet set ligger de væsentlige rationaliseringsgevinsterne ikke i de direkte planlægningsprocesser. Rambøll har gennemført et professionelt projekteringsarbejde indenfor flere fagområder og har her høstet en række mindre gevinster – primært i sparet tid i forbindelse med koordineringen mellem de faglige discipliner via samkøring af fagmodellerne. Aktiviteterne i forb.m konsistenskontrol og simulering udgør i princippet en meromkostning, men det giver samtidig afledte gevinster for de udførende og den kommende driftsherre og brugerne. Imidlertid er konsistenskontrollen og simuleringerne foregået meget rationelt (tidsbesparende) via genbrug af modeldata. Hvis disse funktioner var udført 'ikke BIM baseret' til det samme høje niveau, ville det have krævet meget større ressourcer, så i forhold til kvaliteten er der en gevinst også her.

På en anden side er omkostningerne til at kunne gennemføre IKT-konceptet tilsvarende registreret som liggende på et lavt niveau. Det skyldes, at udviklingsaktiviteter og implementering i Rambøll ikke er en central aktivitet, men løbende foregår i forbindelse med de konkrete byggeprojekter og på et niveau, der svarer til byggeprojekternes økonomiske begrænsninger. Det betyder for casen, at de grundlæggende implementeringsomkostninger er betalt af de forudgående byggeprojekter. RHO casen bygger således videre på et kendt koncept og har som eksempel bidraget med BIM baseret procedure for håndtering af rengøringsentreprisen i driftsfasen.

Den største gevinst for rådgiveren ligger i opfølgningen af rådgiverydelsen under udførelsen på byggepladsen. Der er registreret en direkte gevinst på ca. 3,8 mio. kr. Gevinsten skyldes en meget hurtigere afvikling af rådgiverteamet i forhold til tilsvarende byggesager. Forklaringen på gevinsten må søges i, at IKT-konceptets anvendelse af fagmodeller og fællesmodeller har betydet, at hovedprojektet materialet er velkoordineret mellem fagene og at det indeholder færre projektfejl end normalt. Dette har den positive effekt, at der i starten og under opførelsen er forekommet langt færre tvivlsspørgsmål og uklarheder på byggepladsen, som rådgiveren skulle afklare med fagentreprenørerne.

For entreprenørerne viser casen, at hvis den enkelte fagentreprenør indgår aktivt i en detaljeret projektering og produktionsforberedelse, er der gevinster at hente. Ventilationsentreprenøren investerede et beskedens beløb i nyt software samt efteruddannelse (ca. 400.000 kr.), som gjorde ham i stand til at samprojektere og trække på de modeldata, rådgiver havde udviklet. Dette, sammen med det generelle høje niveau for koordinering, gav ham adgang til en lang række gevinsttyper: sparet tid ved koordinering med andre fag på 3.500.000 kr., en hurtigere gennemførsel af entreprisen på 15-20 % sparet tid og færre montagestop på byggepladsen med en reduktion på 85-90 % i forhold til tidligere projekter. Til det sidste høje tal skal bemærkes, at ventilationsentreprenøren trådte tidligere ind i montageprocessen end traditionelt, hvilket i sig selv vil give færre montagestop og hurtigere montage, men at han vurderer at muligheden for procesændringerne også kan tilbageføres til IKT-konceptets modelkoordinering.

For de andre fagentreprenører, som ikke indgik aktivt i modelarbejdet, var der dog også gevinster at hente. De målbare gevinster lå primært i det velkoordinerede og fejlrettede projektmateriale, som betød færre processtop under udførelsen. De fagentreprenører, der er undersøgt i casen havde alle registreret gevinster indenfor dette område, således registrerede vvs-entreprenøren en besparelse på 450.000 kr. og el-entreprenøren en besparelse på 127.000 kr. Af andre gevinster for denne gruppe entreprenører var adgangen til modellen via en viewer, som gjorde dem i stand til meget hurtigt og effektivt at få overblik over projektet og afklare tvivlsspørgsmål på stedet.

I det hele taget har alle aktører oplevet samarbejdet om byggeprojektet som meget positivt. Et godt samarbejdsklima, arbejdsglæde som eksempelvis er estimeret af hovedrådgiveren til en 20 % produktivitetstigning. Det vil ikke være korrekt alene at tilskrive samarbejdsklimaet IKT-konceptet, men da konceptet indeholder en stor grad af koordinering og integration og dermed samarbejde har det uden tvivl været medvirkende til dette.

Et af de store gevinstpotentialer i modelbaseret arbejdsmetode er mulighederne for genbrug af projektdata. Opbygningen af bygningsmodellerne i sig selv kan betragtes som en omkostning. En investering i information, som så kan anvendes til en række funktioner i den faglige praksis. Der er allerede nævnt koordinering, kollisionskontrol, tegningsgenerering, styklistegenerering osv. Jo flere gange projektdata bliver genanvendt jo større er gevinsten. Her skal parterne være kreative for til fulde at udnytte disse potentialer. I casen blev dette demonstreret eksempelvis gennem brugerinddragelsen ved indretningen af rum, hvor man placerede en bygningsmodel i et virtual reality miljø, samt eksemplet, hvor man ud-



nytter at bygningsmodellen er velstruktureret og detaljeret til at udtrække lister m.m. i forbindelse med udbud og evaluering af rengøringsentreprisen. Jo flere anvendelses- og forretningsområder jo flere gevinster. Der er således i casen registreret potentielle gevinster fremover, hvis de digitale bygningsmodeller anvendes som informationsgrundlag for driften. Da hovedrådgiveren i denne case samtidig er den kommende lejer/driftsherre er der udviklet planer for en sådan driftsfunktion. Det unikke er her, at driftsherren i denne konstellation af roller i projektet har de nødvendige kompetencer til at udvikle dette område.

## Samlet oversigt over Case02's gevinstområder sat i relation til BIM karakteristika for casen:

Figuren er en grafisk fremstilling af væsentlige karakteristika for de enkelte delprocesser i casen. Figuren giver et overblik over på hvilket hovedaktiviteter, der er dækket og på hvilket niveau de forskellige karakteristika befinder sig på. De mørke farver viser: fuldt dækket, de lyse: er repræsenteret, men mindre dækket.

BIM hovedaktiviteter					Samarbejdsrelationer					Modelrepræsentation					Case01 Case02 Case03 case04					Gevinstområde
Modellering	Koordinering	Konsenssk.	Udvikling	Simulering	Dataudtræk	Tegningssgen.	Visualisering	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E			
<b>Generelt</b>																				
																				Bedre kommunikation med samarbejdspartner
																				Mindre behov for fysisk kommunikation
																				Medarbejderinvolvering
																				Bedre motivation
<b>Programmering</b>																				
<b>Design</b>																				
<b>Projektering</b>																				
																				Mere konsistent projektmateriale
																				Hurtigere ændring og opdatering af projektmaterialet
																				Automation ved generering af tegningsmateriale, stål
																				Hurtigere afvikling af projekteringstemet under udførelsen
																				Bedre procesforståelse under projekteringen
																				Afløvere til tiden
																				Bedre bygningsegenskaber, indeklima
																				Større designfrihed, mulighed for større kompleksitet
																				Hurtigere indblik og forståelse af projektet og dets knudepunkter
<b>Udbud/tilbud</b>																				
																				Reduktion i tid ved bedre koordinering mellem fagn modeller
																				Reduktion i entreprisum ved forhandling
<b>Produktionsforberedelse</b>																				
																				Reduktion i tid ved informationsoverførsel, stål
																				Reduktion i tid ved koordinering mellem fagentrepræner med BIM
																				Reduktion i ressourceforbrug ved materialebestillinger håndteret dig.
<b>Produktion</b>																				
																				Reduktion i tid ved gennemførelse af fagentrepræsi, ventilation
																				Fleksibilitet i arbejds gange, ventilation
																				Færre montages top på byggepladsen, ventilation
																				Færre processtop på byggepladsen, entreprenør beton
																				Færre processtop på byggepladsen, entreprenør el
																				Hurtigere indblik og forståelse af projektet og dets knudepunkter, beton
																				Hurtigere indblik og forståelse af projektet, el
																				Hurtigere RH forespørgsler
																				Godt samarbejds klima mellem parter på byggepladsen
<b>Afløsning</b>																				
																				Digital aflevering af 'as built' dokumentation
<b>Drift og vedligehold</b>																				
																				Tidsbesparelse ved vedligeholdelse af udbudsgrundlag
																				Tidsbesparelse ved vedligeholdelse af udbud
																				Tidsbesparelse ved evaluering af tilbud

**DTU Byg**  
**Institut for Byggeri og Anlæg**  
**Danmarks Tekniske Universitet**

Brovej, Bygning 118  
2800 Kgs. Lyngby  
Telephone 45 25 17 00

**[www.byg.dtu.dk](http://www.byg.dtu.dk)**

**DTU Byg Rapport SR 12-03**